



# **LINEAMIENTOS PARA LA INCORPORACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE\***

**“MARCO CONCEPTUAL DE SEGURIDAD HÍDRICA Y SU RELACIÓN CON LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA”**

**24 de noviembre de 2023**

DOCUMENTO ELABORADO EN EL MARCO DEL PROCESO DE ACTUALIZACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO FINANCIADO POR EL FONDO VERDE PARA EL CLIMA Y EJECUTADO POR EL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

“GENERAR INFORMACIÓN ESPECÍFICA SOBRE VULNERABILIDAD Y RIESGOS, ADAPTACIÓN Y LINEAMIENTOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE CHILE COD. REF.: 2022/FLCHI/FLCHI/117561”

ELABORADO POR: Consorcio consultora ERIDANUS y Centro de Acción Climática PUCV

- Ariel Muñoz Navarro
- Claudia Fuentes Pereira
- Isidora Schneider Valenzuela
- Valentina Contreras Figueroa
- Antonio Ugalde Prieto
- Eduardo Rubio Álvarez
- Macarena González
- Maricel Gibbs Robles

COORDINADO POR: Consorcio ERIDANUS-PUCV

- Maricel Gibbs R., Jefa de Proyecto, Eridanus.
- Rodrigo Meza L., Coordinador Técnico, Eridanus.
- Daniela Dueñas, Coordinadora Técnica, PUCV.

CONTRAPARTES TÉCNICAS:

- Alejandra Millán La Rivera, Coordinadora Técnica actualización del Plan Nacional de Adaptación, FAO Chile
- Maritza Jadrijevic Girardi, Jefa de Unidad de Adaptación de la División de Cambio Climático, MMA
- Daniel Álvarez Latorre, Jefe del Departamento de Políticas y Planificación de la Biodiversidad, División de Recursos Naturales y Biodiversidad
- Gladys Santis García, Profesional de Unidad de Adaptación de la División de Cambio Climático, MMA
- Johanna Arriagada Díaz, Profesional de Unidad de Adaptación de la División de Cambio Climático MMA
- Francisco Riquelme, Coordinador Técnico actualización Plan Nacional de Adaptación en Biodiversidad, FAO Chile

\*Este documento es un insumo para el anteproyecto del PNACC, pero no constituyen en ningún caso un documento oficial del MMA. Los productos finales se encuentran en proceso de revisión y diseño de la versión definitiva

# INDICE

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.1 Objetivos .....	6
1.2 Descripción del proceso metodológico .....	6
<b>2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES.....</b>	<b>9</b>
2.1 Revisión Internacional .....	9
2.1.1 Definiciones y criterios asociados a Seguridad Hídrica .....	9
2.1.2 Literatura Científica/Estudios .....	10
2.1.2.1 Seguridad Hídrica y Agenda Global Hídrica .....	10
2.1.2.2 Desarrollo resiliente al clima de los servicios de agua, saneamiento e higiene. Marco Estratégico.....	11
2.1.2.3 Seguridad Hídrica. El Nexo Agua-Alimentación-Energía-Clima.....	12
2.1.2.4 ¿Hundirse o nadar? Seguridad Hídrica para el crecimiento y desarrollo .....	12
2.1.2.5 Síntesis Marco Internacional .....	13
2.2 Revisión Nacional.....	14
2.2.1 Marco Normativo.....	14
2.2.1.1 Ley Marco de Cambio Climático.....	14
2.2.1.2 Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) .....	14
2.2.1.3 Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP) .....	15
2.2.1.4 Código de Aguas .....	15
2.2.1.5 Planes de adaptación .....	16
2.2.2 Definiciones y criterios asociados a Seguridad Hídrica .....	19
2.2.3 Literatura Científica/Estudios .....	20
2.2.3.1 Vulnerabilidad de Seguridad Hídrica .....	20
2.2.3.2 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 .....	20
2.2.3.3 Protegiendo el caudal ecológico para lograr Seguridad Hídrica a largo plazo .....	21
2.2.3.4 Cuencas Regenerativas, de la crisis a la Seguridad Hídrica. Hoja de Ruta Maipo y Maule ....	23

2.2.3.5	Estimación de la Demanda Actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile .....	26
2.2.3.6	Escenarios Hídricos 2030- EH2030.....	27
2.2.4	Síntesis Marco Nacional .....	27
2.3	Análisis y conclusiones de la revisión de antecedentes .....	28
<b>3</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL SH .....</b>	<b>32</b>
3.1	Propuesta conceptual para incluir SH en la adaptación .....	32
3.2	Criterios mínimos al momento de definir SH .....	33
3.3	Relación de la SH y SbN .....	37
<b>4</b>	<b>HERRAMIENTAS Y EJEMPLOS ASOCIADOS A SH.....</b>	<b>40</b>
4.1	Herramientas que sirven para identificar la SH a nivel nacional .....	40
4.1.1	Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClím) .....	40
4.1.2	Índice de Estrés Hídrico.....	41
4.1.3	Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe .....	42
4.1.4	Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe .....	43
4.1.5	WaterProof - Un sistema basado en la web para proporcionar un cálculo rápido del retorno de la inversión y una indicación temprana de una cartera preferida de Soluciones basadas en la Naturaleza en las cuencas hidrográficas.....	45
<b>5</b>	<b>HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE SEGURIDAD HÍDRICA EN TÉRMINOS DE CANTIDAD Y CALIDAD .....</b>	<b>46</b>
5.1.1	Mapas de variación de precipitaciones, evapotranspiración y escorrentía. ....	46
5.1.1.1	Precipitaciones .....	46
5.1.1.2	Evapotranspiración.....	48
5.1.1.3	Escorrentía .....	50
5.1.1.4	Análisis de resultados.....	52
5.1.1.4.1	Precipitación.....	52
5.1.1.4.2	Evapotranspiración.....	54
5.1.1.4.3	Escorrentía .....	56
5.1.2	Mapa de Índice de Calidad .....	58
5.1.2.1	Información base .....	58

---

5.1.2.2	Metodología .....	58
5.1.2.3	Resultados .....	59
5.1.2.4	Análisis de resultados .....	61
5.2	Matriz de ejemplos de SH y su relación con las SbN.....	62
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS MEDIDAS PRESENTADAS EN LA MATRIZ .....</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS.....</b>	<b>71</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento es parte de las etapas del proyecto de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), cuyo objetivo general es generar información sobre vulnerabilidad y riesgos, adaptación al cambio climático y lineamientos en temas específicos, para la actualización del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático con enfoque de género.

El tercer objetivo específico corresponde a “Elaborar lineamientos para la incorporación de Soluciones basadas en la Naturaleza y Seguridad Hídrica en planes de adaptación y otros instrumentos en Chile”.

Este anexo específico hace referencia a la generación de un marco conceptual de Seguridad Hídrica basado en la experiencia internacional y nacional, conjuntamente con las definiciones legales comprendidas en las herramientas de gestión actuales que existen en el país.

Se ahondará en los criterios necesarios para la definición de la Seguridad Hídrica y como ésta puede relacionarse con las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Este anexo presenta también un procesamiento preliminar de la matriz de alternativas de solución detalladas en el Anexo 3.

## 1.1 Objetivos

Dentro de los objetivos específicos relacionados con el presente documento se destacan:

1. Realizar una revisión de antecedentes internacional y nacional de manera de recabar definiciones, criterios e indicadores asociados al concepto de Seguridad Hídrica.
2. Realizar una revisión asociado al marco normativo nacional en donde el concepto de Seguridad Hídrica es acuñado u definido, tal como la ley marco de cambio climático, la estrategia climática de largo plazo, los NDC y planes de adaptación vigentes.
3. En base a la revisión anterior, proponer un marco conceptual asociado a Seguridad Hídrica. Este marco conceptual deberá contener la definición de este concepto, sus alcances y requerimientos mínimos para su existencia. A partir de este marco analizar la relación que existe entre Seguridad Hídrica y las SbN.
4. Efectuar un levantamiento de herramientas existentes que permitan caracterizar la Seguridad Hídrica en sus distintas dimensiones.
5. Hacer un levantamiento de medidas de Seguridad Hídrica, que involucre distintos campos de información, tales como ecorregión de aplicación, amenaza a la que responde, aspecto de Seguridad Hídrica que ayuda a solucionar, criterios de SbN que puede cumplir, etc., de tal manera de poseer una base de datos de medidas actualizada que sirva al propósito de planificación de la adaptación.

## 1.2 Descripción del proceso metodológico

Para el cumplimiento de los objetivos asociados a la presente consultoría, el equipo ha propuesto la siguiente estructura metodológica (Figura 1.1).



Figura 1.1 Resumen de etapas metodológicas que guían el trabajo. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el proceso metodológico, existe un eje transversal al proceso y este corresponde a las SbN. La guía de adaptación debe priorizar primero efectuar un levantamiento y definición de dicho concepto, de tal manera que, amparados en una SbN, se pueda desprender como una medida en concreto cumple con los criterios adecuados para ser catalogada así y cómo puede beneficiar a la Seguridad Hídrica (SH).

Para la creación de este anexo se siguieron los pasos mostrados en la Figura 1.2.

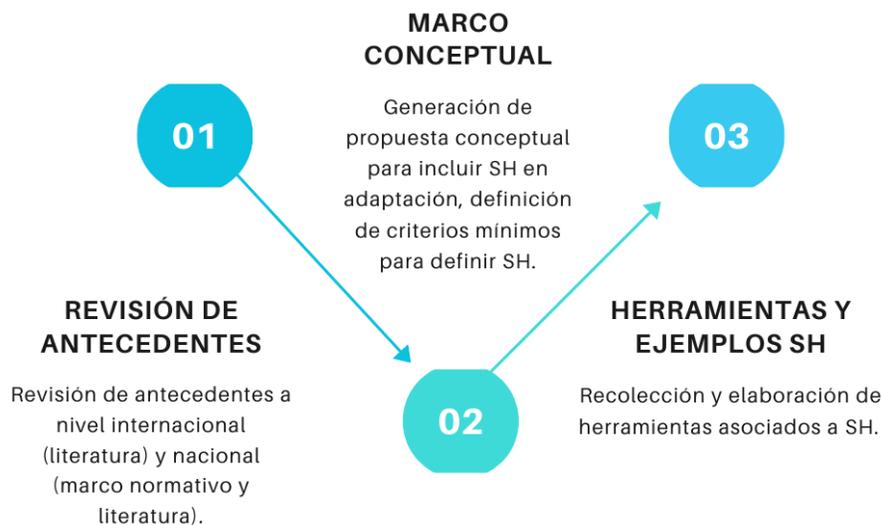


Figura 1.2: Resumen de etapas metodológicas seguidas en este anexo. Fuente: Elaboración propia.

En la primera etapa metodológica se realizó una revisión de literatura internacional y nacional con el fin de encontrar conceptos e ideas claves para la generar una definición de Seguridad Hídrica para este estudio e identificar aquellas amenazas que enfrenta la disponibilidad hídrica.

Dentro de esta etapa, se estudió y analizó el marco regulatorio nacional, de manera de conocer en qué grado está integrado el concepto de SH en los distintos instrumentos revisados, las respectivas definiciones que se hacen de este concepto, seguido de un análisis que brinde antecedentes para poder enlazar la información de la literatura internacional al contexto nacional. Esta etapa concluye con un análisis crítico de los instrumentos estudiados, incluyendo brechas para el logro de SH a nivel nacional.

La segunda etapa metodológica conlleva la elaboración del marco conceptual en base a los antecedentes rescatados del paso anterior. Esto incluye una propuesta conceptual para incluir SH en adaptación, donde se construye una definición de SH para fines de este estudio; seguido por una definición de criterios mínimos al momento de definir SH, y los requerimientos mínimos para alcanzar SH en un territorio. Finalmente, se establece una relación entre SH y las SbN.

La tercera etapa y final, efectúa un levantamiento de herramientas que brindan información de utilidad para determinar el nivel de SH de un territorio, seguido de ejemplos de medidas para ayudar a conseguir dicho objetivo.

Esta tarea no ha sido simple, principalmente porque las SbN poseen una serie de criterios que pueden resultar extremadamente complejos de exigir e incluso aplicar. En este sentido, la matriz de medidas que se ha trabajado tiene la intención de dar cuenta de este proceso, poniendo en vista que muchas veces no es posible cumplir con todos los criterios que hacen que una medida en concreto adquiera primero el carácter de SbN, y que acto seguido se avoque a alcanzar la Seguridad Hídrica.

## 2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

Tal como se señala en el proceso metodológico, en este capítulo se aborda el levantamiento de información internacional y nacional conducentes a conformar una definición del concepto de SH y el correspondiente marco legal e institucional en que se enmarcan las Sbn y la SH.

### 2.1 Revisión Internacional

#### 2.1.1 Definiciones y criterios asociados a Seguridad Hídrica

De la literatura internacional revisada a partir de los siguientes acápite, es posible adelantar una definición formal del concepto de SH, el cual es presentado en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Definiciones para Seguridad Hídrica usadas internacionalmente.**

Definición	Fuente
La disponibilidad de una cantidad y calidad aceptables de agua para la salud, los medios de subsistencia, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua para las personas, el medio ambiente y las economías	Grey, Sadoff, 2007. ¿Hundirse o nadar? Seguridad Hídrica para el crecimiento y desarrollo
La capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para mantener los medios de subsistencia, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política	UNESCO-IHP, 2012
La capacidad de una población para salvaguardar acceso a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para mantener los medios de subsistencia, el bienestar humano, el desarrollo socioeconómico y los ecosistemas, y para garantizar la protección contra los peligros relacionados con el agua.	UNESCO i-WSSM, 2019

Como se puede observar, todas las definiciones coinciden en que la SH considera el acceso a una cantidad de agua de una calidad adecuada para fines específicos. Sin embargo, ninguna de las definiciones que se acuñan logran definir exactamente qué significa un acceso a una cantidad “aceptable”.

Una de las posibles razones a esto, es que la cantidad a asegurar puede depender también del uso que se le quiera dar al recurso, por lo que, dependiendo de este, existan restricciones más importantes si el objetivo es alcanzar el suministro urbano y rural, que, un enfoque de carácter más productivo. Además, la realidad climática de cada ecorregión es un factor muy relevante para considerar, puesto que las dotaciones de suministro en climas desérticos difieren bastante de la de climas más templados y lluviosos, por tanto, la cantidad que requiere la población es una variable que tiene asociado un patrón espacial y temporal que depende de la realidad de cada pueblo.

Es muy relevante desde ambas definiciones tratan también de elevar la relevancia que asegurar cantidad no basta si esta no lleva una calidad adecuada. Esto da cuenta también de la posible presencia de inversiones asociadas a entregar una calidad apta según el uso que se le dé al recurso. Más allá, la definición de UNESCO (2012) cita formalmente que se busca garantizar la protección contra la contaminación, que provenga tanto de desastres naturales, y se entiende también de eventos operacionales que son de responsabilidad de los usuarios de la cuenca.

Esto sugiere, por ejemplo, que la comunicación y transparencia entre los actores que conforman una cuenca deben procurar mantener una gestión transparente y oportuna, de manera que, ante una crisis, se pueda responder a tiempo frente a un evento operacional o a alguna amenaza de carácter hidrometeorológico. Lo anterior sugiere, por ejemplo, que las iniciativas de los Consejos de Cuenca cobrarán una importancia alta para que en su conformación y objetivo se trabaje y transmita el concepto de SH.

Por último, ambas definiciones destacan que la SH no sólo aplica a la población, sino a los medios de subsistencia (que se puede entender, en este caso, como las fuentes de suministro de recurso) y también hacia el ecosistema. Este desafío pone de manifiesto que los planes de adaptación debiesen buscar formar una línea base de conocimiento ecosistémica en cada cuenca, basada en el monitoreo de indicadores que permita definir el estado actual del sistema y detectar aquellos parámetros sensibles que son indicadores de cambios en la degradación de los mismos. Este puede ser un desafío mayor y que requiere de una coordinación desde los mismos departamentos del estado, como por ejemplo el ministerio de agricultura, CONAF, CNR, SISS de manera, ministerio de energía, minería, etc., de manera de proveer monitoreos preventivos y no reactivos frente a eventos de carácter operacionales y a amenazas naturales.

Por tanto, desde las definiciones, se desprende que aún es necesario alcanzar criterios y acuerdos que deben tener un sustento técnico pero que también involucren una coordinación mayor tanto dentro del estado, como también entre los distintos usuarios de la cuenca, siendo responsabilidad conjunta, tanto del estado como de la población, representar también los intereses del ecosistema.

En la literatura que se cita a continuación, se busca encontrar estos fines, además de elementos que puedan ser determinantes para asegurar el acceso a esta cantidad y calidad al recurso hídrico, tratar de acotar este aspecto “adecuado” que no solo apunta a la cantidad, sino que, a la calidad, sumado a criterios que permitan definir cuando un territorio cuenta realmente con SH.

## 2.1.2 Literatura Científica/Estudios

A continuación, se aborda la revisión internacional, presentándose los estudios que han sido seleccionados por su relevancia en alcanzar una definición de SH y de los criterios mínimos para alcanzarla. Se comienza con una revisión de literatura internacional, para luego seguir con una revisión del marco normativo nacional y sus distintos instrumentos.

### 2.1.2.1 Seguridad Hídrica y Agenda Global Hídrica<sup>1</sup>

El documento elaborado por la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico de las Naciones Unidas<sup>2</sup> el año 2013, trabaja bajo la definición de Seguridad Hídrica dado por la UNESCO-IHP (2012) y establece que la Seguridad Hídrica debe considerar una amplia gama de aspectos entre los que destacan:

- El acceso a agua potable segura y suficiente a un costo asequible para satisfacer las necesidades básicas, que incluyen saneamiento e higiene.
- La protección de los Derechos Humanos, la preservación y protección de los ecosistemas.
- El abastecimiento de agua para el desarrollo socioeconómico.
- La recolección y tratamiento de aguas usadas para proteger la vida humana y el medio ambiente de la contaminación.
- Enfoques colaborativos para la gestión de los recursos hídricos transfronterizos.
- Implicancias directas para la seguridad del agua provocadas por el cambio Climático.

Este documento también cuantifica la cantidad de agua que necesita una persona considerando diferentes usos, los cuales se presentan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2: Cantidad de agua requerida por una persona por día de acuerdo con distintos fines. Fuente: Adaptado de Seguridad Hídrica y Agenda Global Hídrica, 2013**

Cantidad de agua por día	Finalidad
2 a 4 litros	Agua que debe ingerir una persona por día
20 a 50 litros	Agua que necesita una persona para satisfacer sus necesidades básicas para

<sup>1</sup> Water Security and the Global Water Agenda.

<sup>2</sup> Economic and Social Commission for Asia and the Pacific por su sigla en inglés ESCAP.

Cantidad de agua por día	Finalidad
	consumo, cocina y limpieza.
2000 a 5000 litros	Agua para producir el alimento diario de una persona.

Este documento reconoce la relación agua-alimentos-energía, y estipula que abordar la inseguridad hídrica podría actuar como una medida preventiva en conflictos y tensiones regionales y, por lo tanto, lograr la Seguridad Hídrica podría contribuir a una mayor paz y seguridad regional a largo plazo.

Estos aspectos son esencialmente complementarios también a las definiciones ya citadas en el acápite 2.1.1, pero conviene destacar la presencia de una dosis concreta genérica que podría entrar al marco de lo que significa una cantidad “aceptable” pero amparada en el consumo humano, no productivo ni ecosistémico.

Resulta muy interesante además que lleva la coordinación de actores un paso más allá por cuanto destacar que planificar la Seguridad Hídrica requiere también de la coordinación con los países con quienes se comparte la frontera, aspecto que no es desconocido para Chile y, por ejemplo, Bolivia, en el marco de la pasada demanda ante el consejo de la Haya, que buscaba también definir que uso y responsabilidad cabía en este recurso compartido. Chile posee cuencas que traspasan las barreras fronterizas, por lo que inmediatamente esto sugiere que la DIFROL se convierte en un actor relevante a la hora de representar el justo derecho que tiene Chile de buscar su SH, cuidando, por ejemplo, que no existan impactos en el abastecimiento de agua por obras en suelo extranjero ni eventos de contaminación, o ingreso de especies exóticas que alteren la calidad del agua local.

Finalmente, este trabajo da una luz adicional de no pensar el concepto de SH como algo estático sino como algo dinámico que está expuesto a la realidad del cambio climático, el cual es capaz de alterar cualquiera de las dimensiones con que se esté buscando alcanzar la SH a nivel nacional. En ese sentido será clave que los planes de adaptación sepan utilizar también herramientas de información debidamente accesibles y que puedan dar cuenta de la sensibilidad frente a las futuras amenazas como al recrudescimiento de las que actualmente sufren los sistemas.

### 2.1.2.2 Desarrollo resiliente al clima de los servicios de agua, saneamiento e higiene. Marco Estratégico

El Marco Estratégico elaborado por GWP y UNICEF, el año 2014 señala que el agua es el principal medio a través del cual el cambio climático influye en el ecosistema terrestre, lo cual afecta a los servicios hídricos en todas las funciones económicas, sociales y ambientales que requieren del agua, repercutiendo en muchos intereses sectoriales como la salud, el turismo, la agricultura y la industria. Afirmar que el cambio climático, causará pérdidas y daños que afectarán a la oferta y al suministro de agua, saneamiento e higiene y presenta incertidumbres que afectan especialmente en los países en desarrollo que son los más vulnerables a estos efectos negativos.

El estudio enfatiza que se debe actuar ahora para identificar, gestionar y minimizar los riesgos climáticos y que es necesario definir los planes y estrategias pertinentes a los cuales se debe hacer un seguimiento, lo que exige la definición de indicadores específicos, medibles, viables, pertinentes y con plazos para evaluar los avances hacia objetivos y metas específicos.

Este enfoque realza a la par del resguardo del suministro hacia la población, el suministro hacia las distintas faenas productivas representadas por sectores económicos específicos. Realza el carácter dinámico de la SH, en el sentido que reafirma que este concepto depende fuertemente del impacto de las futuras amenazas sobre el sistema y de la relevancia de que cada sector productivo posea una línea base de indicadores que permitan hacer la gestión y el seguimiento necesario.

### 2.1.2.3 Seguridad Hídrica. El Nexo Agua-Alimentación-Energía-Clima<sup>3</sup>

El documento desarrollado por el Foro Económico Mundial el año 2011, se escribe bajo la premisa de que el agua es esencial para todos los impulsores centrales del crecimiento económico, lo que hace a este recurso indispensable para cualquier sociedad. Se muestra la relación del agua con diferentes sectores, siendo uno de ellos el comercio y hace énfasis en la agricultura, ya que esta genera alrededor del 70% de las extracciones mundiales de agua dulce. Se presenta el concepto de huella hídrica (footprint), el cual es un indicador del uso de agua dulce que analiza el uso de agua directo e indirecto de un consumidor o productor.

También se menciona la relación del agua con la energía, recursos que están vinculados de dos maneras principales: el agua se usa en la producción de casi todos los tipos de energía (gas natural, combustibles líquidos y electricidad) y la energía se usa en el suministro de agua y el tratamiento de aguas residuales.

Se afirma que todos estos sectores se ven enfrentados a un escenario de cambio climático y de crecimiento poblacional, sumado a la urbanización, lo que trae consigo una mejora en la calidad de vida de las personas y, por consecuencia, un aumento en la demanda de cantidad del recurso y de diferentes tipos de productos y de energía asociada a los mismos.

El escenario de escasez hídrica actual puede conducir a conflictos y una mayor competencia entre y dentro de los diferentes sectores económicos y entre y dentro de los estados. Se afirma que también es probable que las tensiones transfronterizas aumenten a medida que se profundicen los problemas de seguridad del agua dentro y entre las naciones, y que esta falta de recursos hídricos en un cierto territorio puede generar una migración a gran escala.

Se menciona la necesidad de invertir para desarrollar soluciones modernas, como tecnologías y estrategias que ayuden al uso más eficiente del agua, además de obras hidráulicas diseñadas desarrolladas bajo un enfoque integrado, es decir que consideren las condiciones locales y a los beneficiarios de estas.

Como aporte al marco general, se puede destacar el diagnóstico de la alta competitividad que va a enfrentar el recurso en general, lo que releva la importancia de la gestión entre actores, siendo relevante entonces la transparencia de la información y su debido acceso. Adicionalmente, propone una línea de acción basada en el desarrollo de infraestructura, pero también de soluciones modernas, las que se pueden entender en este marco como las SbN. Se realza que el enfoque de solución es integrado, es decir, propone intrínsecamente una combinación entre soluciones grises, verdes y SbN como también que dichas soluciones definan los beneficiarios de éstas.

### 2.1.2.4 ¿Hundirse o nadar? Seguridad Hídrica para el crecimiento y desarrollo<sup>4</sup>

La investigación realizada por Grey y Sadoff el año 2007, utiliza su propia definición de Seguridad Hídrica (Tabla 2.1) enfatiza la importancia de la gestión y el desarrollo de los recursos hídricos para permitir el crecimiento económico responsable y disminuir la pobreza. Establece que existen tres factores que juegan un rol importante en la determinación de las instituciones y el tipo y escalas de infraestructura necesarios para lograr Seguridad Hídrica:

- El entorno hidrológico.
- El entorno socioeconómico: se expone la importancia que juega la estructura hídrica y las instituciones, el cual se ve incrementado en países con dificultades hidrológicas, además de la estructura económica de cada país.
- El entorno futuro (cambio climático) conduce a una menor disponibilidad de agua en los países que ya tienen escasez de agua y a un aumento en la variabilidad con la que se entrega el agua.

<sup>3</sup> Water Security. The Water-Food-Energy-Climate Nexus

<sup>4</sup> Sink or Swim? Water security for growth and development

Se concluye que la mayoría de los países pobres con inseguridad hídrica enfrentan un desafío mucho mayor que el que enfrentaron aquellos que lograron la Seguridad Hídrica en el siglo pasado, siendo países ricos en la actualidad. Los países con inseguridad hídrica de hoy en día enfrentan hidrologías más difíciles y adversas, poblaciones mucho más grandes con demandas de agua más variadas y una mayor comprensión y, por lo tanto, una mayor responsabilidad por las compensaciones sociales y ambientales inherentes a la gestión del agua.

### 2.1.2.5 Síntesis Marco Internacional

Los documentos anteriormente citados, presentan ideas y conceptos clave para construir la definición de SH, como lo son el acceso a una cantidad de agua de calidad a un costo accesible con el fin de satisfacer las necesidades básicas de las personas, proteger los ecosistemas y para el desarrollo económico de un país, estableciendo que existe una relación entre la Seguridad Hídrica y la pobreza, y entre el agua, los alimentos y la energía.

Sin embargo, alcanzar la correcta acepción de lo que significa “aceptable” supone desafíos que dependen de la realidad de cada país. Bajo el contexto chileno, lograr una calidad y una cantidad dependerá del objetivo de protección y el uso que se le dé al recurso. Adicionalmente, el objeto de protección es distinto a lo largo del país, es decir, la realidad climática de cordillera a costa y conforme se avanza en latitud es muy diferente, existiendo requisitos distintos que puedan proveer de SH a la población, particularmente si se habla en términos de dotación (lt/hab/día).

Sumado a eso, asegurar el desarrollo socioeconómico impone que las herramientas de gestión a nivel nacional estén incluyendo levantamiento de líneas base y de indicadores que permitan dar continuidad al conocimiento del estado del sistema, pero que también anticipen posibles impactos debido a las amenazas futuras. Esto es particularmente relevante en sectores productivos que poseen sinergias muy relevantes como la minería, agricultura y energía.

Un caso aparte e igual de relevante es lo que se avance en términos de garantizar la conservación del ecosistema a través de la protección de la biodiversidad. Es clave entender que la SH posee muchos objetos de protección y en ese sentido, ante la carencia del ecosistema de representarse a sí mismo en un consejo de cuenca, se hace necesario asumir esa responsabilidad compartida entre actores privados (ONG's) y el Estado, de manera de conseguir caracterizar líneas base y planes de acción concretos.

Por tanto, aquellos instrumentos de gestión, como los ya citados consejos de cuencas, serán claves a la hora de alcanzar la SH, asegurar transparencia, procurando una gestión preventiva y no reactiva.

Toda la literatura establece al cambio climático como una amenaza para la Seguridad Hídrica, y que en ciertas oportunidades esta debe considerar un contexto transfronterizo. Lograr la SH podría contribuir a una mayor paz y seguridad regional a largo plazo, dada la alta competitividad. Se menciona la necesidad de generar planes y estrategias que cuenten con indicadores medibles y viables que permitan evaluar la eficacia de estas.

Por último, las soluciones modernas, entendidas como SbN, deben procurar una visión integral. En este sentido, alcanzar la SH será posible en la medida que exista una combinación entre SbN, soluciones verdes y en menor proporción infraestructura gris. Esto es muy relevante por cuanto una sola medida de SbN podría perderse dentro de un contexto de cuenca, pero un plan en donde se considere una batería de ellas sumada a otra infraestructura permitiría una mejor aproximación en términos de plazo y logro de metas específicas.

## 2.2 Revisión Nacional

Luego del levantamiento de información desde la literatura internacional, es menester compatibilizar los esfuerzos en la aplicación de este concepto a nivel nacional y hacer un barrido respecto de aquellos documentos que proponen soluciones que apunten a alcanzar la Seguridad Hídrica y analizar cuál es el marco normativo-legal vigente para estos propósitos.

### 2.2.1 Marco Normativo

Antes de profundizar en la literatura nacional relacionada con la Seguridad Hídrica, es necesario conocer los lineamientos que brinda la Ley y las normativas vigentes en Chile establecidos para el territorio a lo largo de los años. Además, resulta necesario conocer en qué grado los diferentes instrumentos consideran el concepto de Seguridad Hídrica al momento de establecer sus lineamientos y, por ende, comprender las posibles brechas que puedan existir en su aplicación.

#### 2.2.1.1 Ley Marco de Cambio Climático

Esta Ley publicada el año 2022, surge con el objetivo de hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y otras forzantes climáticas, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050, adaptarse al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático, y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en la materia.

En la Ley Marco de Cambio Climático, se establecen las definiciones de SH y SbN, que se pueden encontrar en el acápite 2.2.2 referido al Marco Normativo. En esta misma Ley se definen nuevos instrumentos de gestión que podrían estar sujetos a incorporar medidas de SH y SbN, los cuales también se pueden visualizar en el acápite 4.1, y que uno de los aspectos a relevar de la revisión de la Ley corresponde en efecto al plan de adaptación de recursos hídricos cuyo objetivo principal es: "... establecer instrumentos e incentivos para promover la resiliencia ante los efectos adversos del cambio climático sobre los recursos hídricos, tales como la sequía, inundación y pérdida de calidad de las aguas, velando por la prioridad del consumo humano, de subsistencia y saneamiento, la preservación ecosistémica, la disponibilidad de las aguas y la sustentabilidad acuífera".

Es importante destacar que el objetivo de este plan está directamente relacionado con alcanzar la SH de un sistema al alero de aumentar la resiliencia de los sistemas en que el agua está involucrada y frente a los eventos de sequía, exceso y eventos de contaminación, aspecto textual de la definición de Seguridad Hídrica.

#### 2.2.1.2 Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC)

La Actualización Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) presentada en 2020, incorpora diversas metas al año 2030 en materia de mitigación de Gases de Efecto Invernadero y de contaminantes climáticos de vida corta, de adaptación y resiliencia relevando la Seguridad Hídrica, océanos, economía circular, bosques, turberas y ecosistemas con el fin de avanzar hacia una visión integrada y sinérgica en el diseño e implementación de la acción climática del país.

Esta actualización establece a la SH como uno de ocho criterios clave a considerar en los compromisos climáticos de Chile y presenta compromisos específicos en su componente de adaptación, como el diseño del Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos y el desarrollo y actualización de los planes estratégicos de gestión de cuenca para las 101 cuencas del país. También señala que se aumentará la información y los mecanismos de gestión del país respecto de los impactos del cambio climático en recursos hídricos, aumentando su resiliencia con una serie de acciones específicas.

En esta actualización también se incorporaron compromisos en materia de SH, enfocados en el desarrollo de indicadores que permitan establecer metas para su cumplimiento a nivel territorial y organizacional; la gestión del agua a escala de cuencas; y el aumento de la resiliencia del sector de servicios sanitarios. Ello, con el fin de avanzar en aquellos ámbitos donde se ha detectado mayor urgencia, lo que permitirá enfocar la acción con miras a un país resiliente.

### 2.2.1.3 Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP)

Este instrumento, aprobado el año 2021, define los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país de manera transversal e integrada, considerando un horizonte a 30 años para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático; transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de los mismos; reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los efectos adversos al cambio climático; y, dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el estado de Chile en la materia. A nivel general, se establece que la SH, es una prioridad para la adaptación.

En el sector de recursos hídricos se reconocen tres desafíos fundamentales para su gestión: la Seguridad Hídrica, la calidad de las aguas y ecosistemas relacionados, y el marco legal e institucionalidad del agua. Se muestra como Objetivo 1: Promover la Seguridad Hídrica, priorizando el abastecimiento para consumo humano, seguido de la provisión de agua para los ecosistemas y, luego, las actividades productivas estratégicas.

En este instrumento se incorpora un capítulo de Recursos Hídricos (Ver Capítulo 5: Contribuciones sectoriales y componentes de integración - Recursos hídricos) que presenta instrumentos de gestión, objetivos y metas concretas, los cuales, en complemento con los compromisos establecidos por otros sectores (Silvoagropecuario, Infraestructura, Biodiversidad, etc.), permitirán avanzar hacia el abordaje de los principales desafíos país en materia hídrica, como asegurar el abastecimiento de agua para el consumo humano, asegurar la calidad del agua, proteger los ecosistemas, y modernizar el marco legal e institucional en torno al recurso hídrico.

### 2.2.1.4 Código de Aguas

El Código de Aguas, es la ley que regula el uso de los recursos hídricos del país. Durante el mes de mayo del año 2022, se presentó una completa reforma que cambió bastante la manera en que se gestionará el recurso y de cómo este se preserva, se transa y se usa para distintos fines.

Si bien la idea de este trabajo no es hacer un resumen de cada artículo del código, existen atribuciones y deberes que deben ir en línea con los planes de adaptación y sobre todo con la conformación de SbN cuya meta sea alcanzar la SH. Se pueden destacar:

- Cuando los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) se concedan para el consumo humano y saneamiento no se podrán ocupar para otros fines. Aspecto muy relevante para la industria sanitaria y para el mercado en sí.
- La administración puede reservar aguas para garantizar los derechos humanos ligados al abastecimiento de la población. La DGA podrá constituir derechos de subsistencia, que pueden usar las sanitarias, para garantizar el abastecimiento. Este aspecto podría promover una sinergia con las SbN que se enfoquen en SH hacia la población, pudiendo constituir derechos para medidas específicas, trabajando en conjunto con la SISS. Lo anterior sugiere que ambos actores cobrarán una importancia transversal para los planes de adaptación vigentes y por desarrollar.
- Existe una prioridad de abastecimiento al consumo humano, al suministro de recursos para los servicios ecosistémicos y luego para las faenas productivas. Lo anterior sugiere que debiese ser más factible, a la hora de presentar una SbN, aprovechar o bien un DAA existente o bien conseguir uno nuevo con esos fines.
- Adicionalmente, y con la sola necesidad de satisfacer las necesidades humanas de bebida y los usos domésticos de subsistencia (NO industriales, se refiere a una escala de huertas), cualquier persona podrá extraer agua proveniente de las vertientes cordilleranas o cualquier forma de recarga natural

que aflora superficialmente. Todo esto mientras no exista una concesionaria de agua potable y que el beneficio que reporta sea mayor a cualquier perjuicio.

Esto es clave para las SbN que intenten asegurar el abastecimiento para las zonas de precordillera. Medidas como por ejemplo las “stuppas”. Estas “stuppas” son básicamente iglús que se forman por la liberación de un flujo vertical liberado en invierno que se congela naturalmente, dado que éste se construye sobre la línea de nieves (sobre la isoterma cero). Esta agua se capta de fuentes cordilleranas y permiten por un lado tratar de reconstruir el manto de nieves, pero también reservar un agua de invierno para usarla en verano. Bajo este concepto, este tipo de medida podría contar con el apoyo legal de la DGA y constituir derechos para recuperar zonas determinadas, siempre y cuando no existan perjuicios que superen el beneficio social.

- En el sector de la minería, por ejemplo, los nuevos DAA concedidos deberán verificar la no afectación de la sustentabilidad de los acuíferos, pudiendo limitar el uso.
- Se crean los derechos para conservación ambiental. Este aspecto supone una ventana de oportunidades para innovar a través de SbN.
- Se destaca la prohibición de constituir derechos de aprovechamiento en glaciares y la creación del Fondo para la Investigación, Innovación y Educación en Recursos Hídricos, dependiente del Ministerio de Obras Públicas, y que se ejecutará a través de la Dirección General de Aguas, constituido por los aportes que se consulten anualmente en la Ley de Presupuestos de la Nación, destinado a financiar las investigaciones necesarias para la adopción de medidas para la gestión de recursos hídricos y, en particular, para la elaboración, implementación y seguimiento de los planes estratégicos de recursos hídricos en cuencas; debiendo sus recursos distribuirse entre las regiones del país, para la elaboración de dichos planes.
- Cualquier persona puede llevar a cabo iniciativas de recarga artificial de acuíferos, para fines de preservación ecosistémica, mantener o mejorar la sustentabilidad del acuífero, infiltrar agua desalinizada o residuos líquidos regulados. La fuente puede ser externa a la cuenca previa autorización de la DGA.

Todos estos aspectos representan fuentes de oportunidades a la hora de implementar SbN con objeto de SH, dado que permitirían tener un sustento legal de recurso a medidas pilotos y proveen por cierto una manera de priorizar aquellas medidas que primero debiesen considerarse, en virtud de contar con un sustento técnico y con un abastecimiento legal permitido para mejorar la disponibilidad y la calidad de fuentes superficiales y subterráneas y proveer de subsistencia en los sectores donde no existe una concesionaria.

### 2.2.1.5 Planes de adaptación

Se realiza una revisión de los planes publicados en la página del Ministerio del Medio Ambiente:

En cuanto al Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Turismo y para el Sector Energía no se refieren a Seguridad Hídrica, ni en términos de cantidad, ni calidad del agua.

En el Plan de Adaptación se cuenta con la medida “Impulsar la gestión del agua frente a los impactos del cambio climático” que tiene por objetivo racionalizar el uso de agua potable frente a los efectos del cambio climático como son las sequías y las lluvias intensas.

El Plan de Adaptación al Cambio Climático Sector Salud, se establece que el Departamento de Salud Ambiental deberá establecer las bases técnicas y reglamentarias para la implementación por parte de los prestadores de los Planes de Seguridad del Agua, de forma de incrementar la seguridad de los servicios de agua del país en términos de calidad, cantidad y continuidad del abastecimiento. También se menciona la Superintendencia de Servicios Sanitarios debe “Aportar datos sobre calidad de aguas desde empresas concesionadas”.

En el Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad se recomienda la gestión sostenible de los humedales de tierras altas y las llanuras de inundación para el mantenimiento del flujo de agua y la calidad. También se menciona la medida “Normas Secundarias de Calidad Ambiental integral para aguas subterráneas”, cuyo objetivo es generar una base integral para la elaboración de normas secundarias de calidad de aguas destinadas a la protección de acuíferos.

Para este estudio, se profundiza en el análisis de los planes relacionados con los sectores de Infraestructura y Silvoagropecuario, esto porque los primeros se relacionan con obras que pueden ayudar a proporcionar Seguridad Hídrica, mientras que el segundo abarca al sector agrícola, el cual consume el 88% del agua superficial y subterránea (Escenarios Hídricos, 2022).

#### a) Plan de Adaptación y Mitigación de los servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022

Este plan se articula en torno a tres ejes temáticos: adaptación, mitigación y gestión del conocimiento. Para este trabajo se abordará el eje de adaptación, ya que cuenta con una serie de líneas de acción y medidas asociadas las cuales son de interés para el presente estudio. Las medidas de las líneas de acción seleccionadas son aquellas que se relacionan con de alguna forma con la SH y que se destacan en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3: Líneas de acción y medidas referidas a Seguridad Hídrica. Fuente: Plan de Adaptación y Mitigación de los servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022, 2017**

Línea de acción	Medida
Línea de Acción 1: Cambios metodológicos para incorporar la gestión del riesgo hidrológico futuro en la evaluación, diseño y planificación de servicios de infraestructura.	1: Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo.
	2: Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos: Embalses de Regadío.
Línea de Acción 2: Monitoreo de amenazas.	6: Mejoras en monitoreo en disponibilidad de recursos hídricos: Ampliar la densidad de estaciones en glaciares, cuenca y sub - cuencas de zonas con cobertura de nieve.
	7: Mejoras en monitoreo de caudales extremos.
Línea de Acción 4: Incorporación en los procesos de planificación ministerial de las implicancias del Cambio Climático para los servicios de infraestructura del Ministerio de Obras Públicas.	11: Incorporar en todas las escalas de planificación ministerial los efectos de Cambio Climático

Las líneas de acción 1 y 4 muestran que los servicios de infraestructura deben considerar un contexto de riesgo hidrológico y cambio climático. Las medidas señaladas de estas líneas de acción corresponden a aquellas que abarcan o pueden abarcar infraestructura que ayude a proporcionar Seguridad Hídrica. En cuanto a la línea de acción 2, se aborda la necesidad de ampliar la cantidad de estaciones de monitoreo, lo cual se relaciona con lo establecido por la LMCC, que exige la implementación de indicadores de monitoreo, reporte y verificación de cumplimiento de las medidas establecidas, por lo tanto, aumentar la cantidad de información producto de la incorporación de estas estaciones, se puede contribuir a la generación de estos indicadores de las acciones implementadas por los diferentes planes.

#### b) Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario

Este plan contiene un total de 21 medidas que buscan que este sector pueda adaptarse mejor a nuevas condiciones climáticas. Para este estudio se abordarán solo las relacionadas con Seguridad Hídrica las cuales se presentan en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4: Medidas y acciones asociadas a Seguridad Hídrica. Fuente: Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario, 2013**

Medidas	Descripción de acciones
N° 1: Fortalecer la planificación y gestión de recursos hídricos a nivel nacional para optimizar el uso del agua	Desarrollar estudios destinados a definir la viabilidad de proyectos de infraestructura de riego, incluyendo obras de acumulación, conducción y trasvases, entre otros, de modo de mejorar la seguridad de riego y/o de incorporar nuevas áreas al regadío
	Desarrollar programas tendientes al fortalecimiento técnico y legal de las Organizaciones de Usuarios de Aguas, para asegurar su constitución formal y la regularización de los

Medidas	Descripción de acciones
en la agricultura.	derechos de aprovechamiento de agua.
	Estudios para el desarrollo de instrumentos enfocados a mejorar la calidad del agua para riego.
N° 2: Establecer un programa nacional para fomentar la gestión eficiente y sustentable del agua en la agricultura de riego	Gestionar, administrar y focalizar recursos orientados a la inversión en obras de riego y drenaje.
	Fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje a través de la bonificación de una parte de la inversión de proyectos de tecnificación de riego intrapredial y/o mejoras en los sistemas de conducción de las aguas.
	Mejorar la infraestructura de distribución del agua de riego. Esto implica mejoras en los canales primarios, secundarios y terciarios (revestimientos, acueductos, entubados, sistemas de compuertas, etc.).
N° 3: Reforzar el Programa de Riego Campesino	Estimular la participación campesina en los concursos de la Ley N° 18.450 de Fomento al Riego y Drenaje, que la Comisión Nacional de Riego convoque, a través de proyectos individuales y asociativos.
	Incrementar la seguridad de riego, a través de obras de reparación, mejoramiento o ampliación de los sistemas de riego extraprediales
	Aumentar la eficiencia de riego a través de inversiones en sistemas de riego tecnificado.
	Incorporar nuevas áreas al riego, mediante la construcción de obras tales como embalses, pozos profundos, norias.
	Dar seguridad jurídica a las aguas utilizadas en el riego campesino y fortalecer las organizaciones de regantes
N° 10: Apoyo a la investigación y fomento a la innovación en gestión de recursos hídricos en el sector silvoagropecuario.	Fomentar la investigación aplicada en torno a los recursos hídricos, orientados al uso eficiente y gestión sustentable de éstos a nivel predial, extrapredial y/o cuenca hidrográfica que permita mantener y/o mejorar la competitividad de los productores agropecuarios del país.
	Desarrollar un sistema preciso de estimación de demandas hídricas de cultivos, frutales y especies forestales, considerando la modelación y/o evaluación de desempeños a nivel fisiológico, productivo y de calidad bajo una gama de escenarios climáticos posibles.
	Desarrollar y mejorar los sistemas de información que permitan la toma de decisiones informada y oportuna, con soporte técnico para reducir la vulnerabilidad frente a variabilidad y cambio climático en agricultura de riego.
	Implementación del uso de herramientas para la gestión hídrica con el fin de mejorar la competitividad de los productores.
N° 17: Estudio de requerimientos hídricos de especies forestales nativas y exóticas.	El estudio busca determinar y conocer los requerimientos hídricos de especies nativas y exóticas, expresados en evapotranspiración, establecidas en un gradiente latitudinal y altitudinal. De esta forma se puede proyectar una variación en la distribución territorial de las mismas frente a un escenario de cambio climático. Las especies a evaluar serán en una primera etapa: Roble, <i>Pinus radiata</i> y <i>Eucalyptus spp.</i>
	Este estudio correlacionará datos de evapotranspiración, precipitación y temperatura de la zona geográfica donde se encuentren establecidas las especies.
N° 18: Implementación de sistemas de cosecha de agua lluvia para riego y bebida.	Recolección en el terreno, es decir, a través de distintas técnicas que permitan facilitar la infiltración del agua de escorrentía en la tierra y acumularla en el perfil de suelo (terrazas, surcos de desviación, trincheras, limanes, otros)
	Obtener el agua desde los techos de casas y galpones y conducirla por sistemas de canaletas y tuberías hasta un estanque acumulador. En este caso es posible coleccionar el 80% del agua lluvia, con lo cual por cada 100 mm caídos se obtiene una cosecha de 3 mil 200 litros en un techo de 40 m <sup>2</sup> . Con una precipitación anual de 500 mm es posible almacenar agua suficiente para el consumo de 50 litros por persona al día para una familia de 3 personas durante casi 3 meses.
	Acumular el agua de lluvia en pequeños tranques construidos en el predio.
N° 19: Diseño e implementación de un programa de investigación sobre la huella del agua, de manera de incorporar tecnologías que permitan la reducción en el uso del recurso hídrico	Evaluación de la huella del agua en los procesos productivos de los productos principales en cada región agrícola.
	Propuesta de incorporación de tecnología en los puntos críticos de las cadenas productivas de los productos agropecuarios, para disminuir el uso de agua, priorizando cadenas productivas más vulnerables.

Medidas	Descripción de acciones
en los puntos críticos de las cadenas productivas de los productos agropecuarios	

Las medidas señaladas en la Tabla 2.4, buscan la gestión eficiente y sustentable del agua con el fin de brindar seguridad de riego a través de acciones como fomento y la mejora de infraestructura para riego, fomento a la investigación e innovación y levantamiento de información (estudio de requerimientos hídricos de especies forestales nativas y exóticas, programa de investigación sobre la huella del agua). Se destaca que algunas medidas cuentan con indicadores de monitoreo y control, lo cual es exigido dentro de la LMCC.

## 2.2.2 Definiciones y criterios asociados a Seguridad Hídrica

En el acápite anterior se han presentado los aspectos normativos que están ligados a la definición, criterios y facilidades de aplicación de SH, particularmente aquellas medidas que busquen el conducto de las SbN.

Antes de profundizar en la literatura nacional sobre otros distintos aspectos que se deben considerar al momento de tomar medidas para brindar SH en un territorio, conviene precisar las definiciones que se enmarcan en el marco normativo y que hacen algunos estudios nacionales, ambas destacadas en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5: Definiciones de Seguridad Hídrica utilizadas nacionalmente.**

Definición	Fuente
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 socio- económico y la conservación de los ecosistemas, manteniendo una alta resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y contaminación	Fuster et al., 2017
La capacidad de un territorio para evitar, mitigar o adaptarse a los peligros que enfrenta el sistema hídrico y garantizar el acceso equitativo –en calidad y cantidad– a servicios hídricos resilientes, que permitan el desarrollo humano y económico sostenible de su población, promoviendo a su vez la sostenibilidad de los ecosistemas planetarios y locales pertinentes.	Urquiza & Billi, 2020
Posibilidad de acceso al agua en cantidad y calidad adecuadas, considerando las particularidades naturales de cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo para consumo humano, la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico, conservación y preservación de los ecosistemas, promoviendo la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías y crecidas y la prevención de la contaminación.	Ley Marco de Cambio Climático, 2022

En este sentido, la definición que proviene de la LMCC es la que más está relacionada con el levantamiento de antecedentes internacionales que se ha llevado a cabo y capta la mayoría de las precisiones relevantes a tener en cuenta, incorporando el concepto de resiliencia frente a amenazas derivadas de eventos extremos como lo son la sequía y las crecidas.

Se preocupa de preservar la calidad al momento de promover una prevención de la contaminación. Ambas son definiciones bastante complementarias.

## 2.2.3 Literatura Científica/Estudios

### 2.2.3.1 Vulnerabilidad de Seguridad Hídrica

El estudio desarrollado por Álamos y Monsalve, et al. el año 2021 trabaja con la definición de Seguridad Hídrica dada por Urquiza & Billi, 2020 (Tabla 2.5). Se explica que, bajo el contexto de cambio climático, la sequía se muestra como una de las amenazas más graves sobre el país. Se resalta la situación del territorio de la zona Central de Chile, donde se ha observado una sequía producto de la sucesión ininterrumpida de años secos, con déficits de precipitaciones que van desde el 25 al 45% en el Centro de Chile para el periodo 2010-2018 (Garreaud et al., 2017, 2019) y que superaron el 70% el año 2019. Se agrega que, según cálculos de la DGA (2018; 2019), la disponibilidad de recursos hídricos ha disminuido, de forma sostenida y creciente, en un 20% en la macrozona del sur y en más de un 50% en las zonas norte y centro.

Se muestra que la Seguridad Hídrica tiene dos perspectivas, y que la intersección de estas dimensiones es necesaria para abordar este concepto:

- Perspectiva transversal: que evalúe el acceso equitativo, la calidad y la cantidad de los servicios ofrecidos en distintos territorios o, inversamente, evidenciando brechas en términos de acceso y/o equidad (Bohoslavsky & Justo, 2011; UN WATER, 2013; Wood et al., 2019).
- Perspectiva longitudinal: que examine la sostenibilidad y resiliencia de estos servicios frente a distintos tipos de amenazas en el tiempo (Grizzetti et al., 2016; Hussien et al., 2018; Peña, 2016).

Finalmente, se expone que un territorio presenta riesgo de inseguridad hídrica (riesgo hídrico), cuando no es capaz de garantizar la sostenibilidad y resiliencia de los servicios hídricos que ofrece frente a posibles amenazas, cuando no ofrece un acceso equitativo a estos servicios, o carece de ambas características. Esta condición de riesgo estará determinada tanto por el grado de exposición a amenazas como por las condiciones de vulnerabilidad propias de los sistemas (ecosistemas, sistemas técnicos de suministro y sistemas culturales) involucrados en la provisión de servicios hídricos (CR<sup>2</sup>, 2018).

Esto sugiere que las medidas de SbN pueden también aplicarse con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta natural del sistema, o finalmente, dada una amenaza, mejorar la rapidez con la que el sistema puede recuperarse nuevamente, dado que muchas veces no es posible responder a toda la intensidad de la amenaza.

Un ejemplo de esto se da en aquellas SbN que tienen múltiples objetivos, por ejemplo, los parques inundables con humedales. Muchas veces las crecidas tienden a causar un daño relevante a la infraestructura, pero el parque es capaz de apaciguar la onda de la crecida, posibilita la detención de detritos en distintas trampas que puede presentar el parque y según como se haya definido el humedal, este puede diseñarse para remediar algún contaminante cuyo riesgo de transporte sea alto al momento en que se desarrollan los eventos. En este sentido, la medida que se plantea originalmente como una medida que combate el riesgo a desastres vía el aumento de la capacidad de respuesta, puede también transformarse en una medida que ayuda a bajar la inseguridad hídrica, dado que fomenta la detención en infiltración de las aguas (recarga natural) y baja la intensidad del episodio de contaminación, dado el carácter remediador del humedal.

### 2.2.3.2 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

Este informe realizado por Fuster et al., publicado el año 2017, analiza una amplia gama de definiciones de Seguridad Hídrica provenientes de la literatura, concluyendo que el concepto ha sido utilizado bajo dos enfoques opuestos: un enfoque "estrecho" y reduccionista en el marco de una materia o disciplina específica y otro enfoque "general" con un alcance interdisciplinario, interinstitucional e integrador (Peña, 2016). Los autores presentan una definición de Seguridad Hídrica bajo un enfoque integrador (Tabla 2.5), fundamentados en que el logro de SH bajo un enfoque reduccionista puede ser a expensas del medio ambiente y la salud

humana (Pahl-Wolst et al., 2013), mientras que el enfoque adoptado responde a la necesidad del país de promover la gestión coordinada del agua dentro de un modelo que enfatice el desarrollo y fortalecimiento de un buen sistema de gobernanza.

Para efectos de implementar o dar operatividad al concepto antes definido, se proponen cuatro dimensiones que se asumen representan los principales requerimientos o preocupaciones que la sociedad demanda:

- i. Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano: para proteger la salud pública al buscar satisfacer las necesidades básicas de la población en relación al acceso al agua potable. Esta dimensión está asociada a dos áreas de importancia: actividades de subsistencia familiar y necesidades humanas básicas.
- ii. Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable: corresponden a actividades demandantes de agua cuyos requerimientos, en calidad y cantidad, deben ser satisfechos de manera sustentable de modo de no condicionar el desarrollo económico del país. Esta dimensión está asociada a dos componentes de importancia: satisfacción de necesidades de actividades productivas extractivas de agua y satisfacción de necesidades de actividades productivas no extractivas de agua.
- iii. Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos: la importancia la mantención y/o mejoramiento de la calidad del recurso hídrico tanto en cuerpos superficiales como subterráneos y la mantención de caudales mínimos en cauces superficiales (ej. caudal ecológico). Esta dimensión está asociada a dos componentes de importancia: protección y conservación de ecosistemas; y control de contaminación.
- iv. Nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos: Esta dimensión aborda la necesidad de disminuir la vulnerabilidad frente a eventos extremos relacionados con el exceso y déficit del recurso hídrico. Además, está asociada a eventos de sequía, exceso de agua y saneamiento (todavía existe una brecha en el control del tratamiento de las aguas servidas en comunidades rurales).

El documento establece que todas las brechas identificadas y acciones a ejecutar, deben evaluar a qué dimensiones afectan, ya que esto facilita la identificación de actores.

### 2.2.3.3 Protegiendo el caudal ecológico para lograr Seguridad Hídrica a largo plazo<sup>5</sup>

Esta investigación realizada por Álvarez-Garretón et al. el año 2022, utiliza el concepto dado por la UNESCO-IHP, 2012 (Tabla 2.1) para Seguridad Hídrica.

En este trabajo se analiza el riesgo a escasez hídrica en 277 cuencas chilenas que presentan una amplia gama de condiciones hidroclimáticas, utilizando para ello el Índice de Estrés Hídrico (Water Stress Index, WSI por su sigla en inglés) que corresponde a la relación entre las extracciones de agua y la disponibilidad hídrica (Rockström et al., 2009; Veettil and Mishra, 2018). Además, se entrega una clasificación (Tabla 2.6) de este índice basada en el riesgo de escasez hídrica (Falkenmark, 2002; Gosling and Arnell, 2016; Rockström et al., 2009) y una perspectiva ecológica (Falkenmark, 2002; Smakhtin, 2008).

---

<sup>5</sup> Protecting environmental flows to achieve long-term water security

Tabla 2.6: Clasificación de riesgo hídrico de acuerdo con el WSI. Fuente: Alvarez-Garreton et al., 2022.

Rango	Riesgo de escasez hídrica	Perspectiva ecológica
WSI < 40%	Riesgo Bajo	Cuenca abierta: el suministro de agua es suficiente para satisfacer las demandas actuales de extracción manteniendo las funciones ecológicas del río.
40% < WSI < 70%	Riesgo Medio	Cuenca de cierre: las extracciones comienzan a incidir en las necesidades ecológicas.
WSI > 70%	Riesgo Extremo	Cuenca cerrada: la cuenca está sobre comprometida y, por lo tanto, se considera cerrada, ya que no se pueden realizar compromisos de agua adicionales.

En la Figura 2.1, se presentan los resultados obtenidos de la clasificación de WSI en las cuencas estudiadas, mostrando el escenario en que estaría cada cuenca según los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) ya otorgados. Estos resultados muestran que 198 cuencas se encontrarían en un nivel de riesgo bajo, concentrándose estas en la zona Sur y Austral del país. Por otro lado 20 cuencas presentarían un nivel de riesgo medio, 8 un nivel de riesgo extremo y 51 sobrepasan los límites físicos, es decir, la disponibilidad natural de la cuenca, lo que implica que en la práctica muchos DAA no puedan ser ejercidos en la práctica.

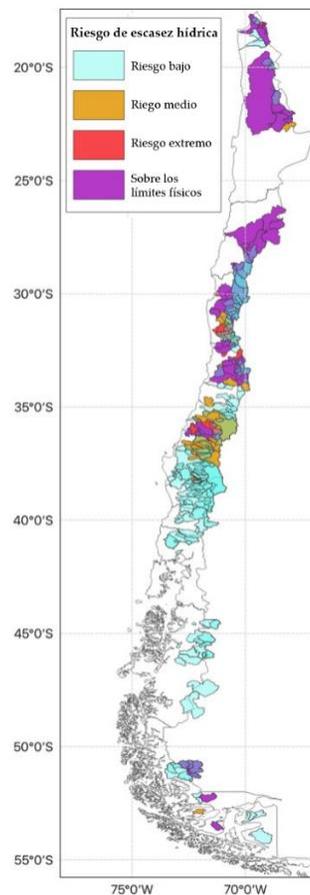


Figura 2.1: Riesgo de escasez hídrica en cuencas en estudio (WSI). Fuente: Alvarez-Garreton et al., 2022.

También se presenta el concepto de caudal ecológico definido como la cantidad, régimen y calidad de flujo de agua dulce y los niveles necesarios para sostener los ecosistemas acuáticos que, a su vez, sustentan las culturas humanas, las economías, los medios de subsistencia y el bienestar (Arthington et al., 2018). Uno de los aspectos importantes de este estudio es que se considera la estacionalidad de las precipitaciones en el área de estudio, definiendo métodos de análisis que consideran o épocas húmedas (abril a septiembre) y seca (octubre a marzo) (método de Tennant, Karakoyun et al., 2018), o caudales mensuales (método de Tessman, Pastor et al., 2014).

Lo anterior cobra relevancia, pues cada sistema hídrico responde a una estacionalidad, siendo relevante entonces incorporar la variabilidad temporal y espacial del recurso a la hora de evaluar la seguridad.

Este último aspecto es muchas veces pasado por alto a la hora de elegir medidas concretas. La disponibilidad temporal del recurso muchas veces definirá los períodos de acumulación y de funcionamiento de las soluciones con carácter regulador, como también las fechas será más probable gestionar un determinado desastre, en términos de probabilidad de ocurrencia, etc.

En cierto modo, una limitación del trabajo es que su base de información son sólo cuencas CAMELS. Estas cuencas son en general de limitada intervención antrópica y la mayoría de ellas se encuentran desde la depresión intermedia hacia la cordillera, sin duda son un aporte a la cuantificación de la disponibilidad, pero hacia aguas abajo los problemas son aún más complejos, dado el comportamiento dinámico de demanda en cuanto a montos y tipificación (lo que provoca más conflictos) y a la incorporación de otras fuentes hídricas.

Del mismo modo analiza la extracción legal y no real del derecho. Claramente hay cuencas sobreotorgadas puesto que sus límites extractivos fueron definidos con una importante carencia de información mientras que otros límites y criterios fueron obviados por los usuarios del recurso, como ocurrió con la Pampa del Tamarugal.

Últimamente, el WSI ha sido utilizado como un indicador propuesto por el MMA para analizar si grandes proyectos de infraestructura desarrollados en el MOP permiten la satisfacción de los caudales ecológicos como primera prioridad, y luego para evaluar el grado de satisfacción de otras demandas.

#### 2.2.3.4 Cuencas Regenerativas, de la crisis a la Seguridad Hídrica. Hoja de Ruta Maipo y Maule

Este documento presentado el año 2022 por Escenarios Hídricos 2030, establece que las cuencas son territorios que cumplen un rol importante en el ciclo hidrológico, permitiendo la circulación del agua y creando las condiciones adecuadas para la vida, el desarrollo y la resiliencia. En ellas, además, los sistemas naturales cumplen funciones y servicios trascendentales, no solo para el ciclo del agua, sino que para otros ciclos de la tierra y la supervivencia de los seres vivos.

Se muestra un diagnóstico que arroja como resultado que el 83% de las causas de los problemas de agua en los territorios obedece a factores antrópicos, entre los que destacan el 44% por una deficiente gestión hídrica y gobernanza, y un 17% por aumento de demanda (EH2030, 2019).

Se propone usar el concepto de cuencas regenerativas, ya que amplía las fronteras de cuencas sustentables, el cual hace referencia a mejorar la relación humana con la naturaleza, buscando que las acciones y/o prácticas realizadas en los territorios tengan una visión integral, sistémica y adaptable. Las cuencas regenerativas incluyen la idea de generar el escenario idóneo para que los ecosistemas utilicen su potencial sustentable y capacidad regenerativa para adaptarse a los cambios actuales y futuros.

El documento realiza una hoja de ruta en las cuencas Maipo y Maule, con información propia de estos territorios. Se rescata la metodología mostrada, ya que permite mejorar la toma de decisiones de los diversos actores vinculados al agua, siendo aplicable para cualquier cuenca.

1. **Conocer la realidad de los territorios y los problemas de los diversos usuarios locales del agua:** esto mediante árboles de problema, los cuales consideran el proceso de construcción colectiva con actores locales, sobre una base técnica.

2. **Conocer el ciclo hídrico de la cuenca:** para ello se proponen utilizar las siguientes herramientas:

- Herramienta estratégica para la selección de medidas, acciones y soluciones hídricas (HESMASH): diseñada para mejorar la toma de decisiones, esta herramienta busca proponer el conjunto de soluciones más costo eficientes para abordar los problemas planteados, además de cuantificar la cantidad de agua que aportan dichas soluciones, su inversión referencial y los posibles impactos ambientales y sociales de su implementación.
- “Wetspass”: herramienta base para determinar el uso de aguas subterráneas en la modelación hidrológica, identificación de zonas para la conservación, reparación y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN).
- Cambios de uso de suelo: para el caso de este estudio se utilizó el estudio realizado por Pliscoff (2020), que permitió determinar los cambios de uso de suelo en los últimos 20 años y que además fue utilizado como insumo para la aplicación del WetSpas y la modelación hidrológica, facilitando identificar zonas para la conservación, reparación y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN).
- Identificación de ecosistemas fundamentales: Los ecosistemas prioritarios para la conservación y reparación tienen relación con su valor esencial en la regulación del sistema hídrico, principalmente por su aporte en cantidad de agua, su capacidad para la recarga de acuíferos, sus funciones estructurales en los procesos de las cuencas y su capacidad de generar resiliencia al Cambio Climático en los territorios. Cabe señalar que este estudio utilizó la información proporcionada por Pliscoff (2020).
- Índice de Seguridad Hídrica (ISH): corresponde a un valor numérico que busca aproximar e identificar cuánta es el agua requerida en tiempo y espacio territorial de una cuenca hidrográfica, necesaria para asegurar el agua para los diversos usos, incluyendo el ecológico y ambiental.

Para construir este índice es necesario integrar en las modelaciones las aguas superficiales con las subterráneas, el caudal ambiental y el caudal ecológico de la cuenca hidrográfica en estudio, incluyendo dentro de los criterios el agua que deben transportar los ríos hacia el mar (estuarios), dado que sostienen servicios ambientales fundamentales, como las zonas de reproducción de especies marinas, que son la base para la pesquería y sustento de muchas familias en Chile. Esta innovación permite identificar la Brecha Hídrica en tiempo y espacio en las cuencas, determinando cómo el conjunto de soluciones va aportando para alcanzar la Seguridad Hídrica en los territorios. El índice clasifica el nivel de SH en 4 categorías detalladas en la y cuya interpretación se facilita al observar la Figura 2.2.

Color	Nivel de SH	Descripción
■	Seguridad Hídrica	Excedente para almacenamiento de agua.
■	Caudal ambiental	La oferta cubre el caudal ecológico y la demanda potencial aguas arriba, pero hay posibles efectos a terceras aguas debajo de la estación de monitoreo
■	Demanda potencial	Oferta cubre el caudal ecológico, sin embargo, no cubre completamente la demanda potencial aguas arriba de la estación de monitoreo.
■	Caudal ecológico	La oferta no alcanza a cubrir el Caudal Ecológico, lo que implica un mayor riesgo para la Seguridad Hídrica. Es necesario mantener la continuidad del agua en el río, evitando tramos secos.

Tabla 2.7: Clasificación Índice de Seguridad Hídrica (ISH). Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2022.

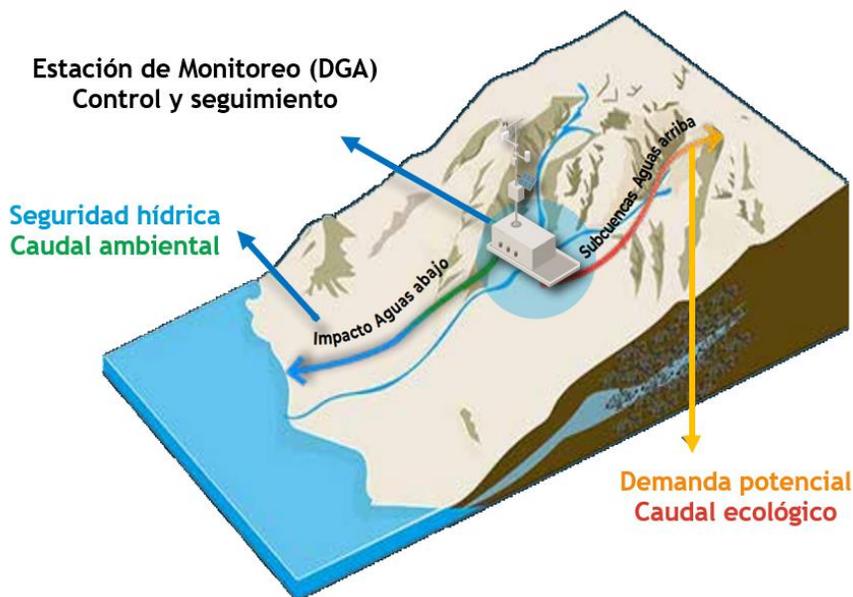


Figura 2.2: Dinámica del Índice de Seguridad Hídrica (Biorritmo de la cuenca).  
Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2022.

### 3. Conexión de las soluciones con los problemas del territorio.

- Potencialidades del territorio: identificar las potencialidades del territorio para la implementación de soluciones.

### 4. Productos para la toma de decisiones.

- Curva de abatimiento: gráfica con información referencial que permite determinar el conjunto de soluciones requeridas para abordar los problemas en los territorios, mostrando el impacto que genera cada una de ellas en m<sup>3</sup> de agua y sus costos unitarios, facilitando así la toma de decisiones.
- Hoja de ruta: conjunto de metas a conseguir en un tiempo y territorio determinado, para abordar la Brecha y Riesgo Hídrico, las cuales son logradas a través de acciones y/o soluciones hídricas acordes a las necesidades locales.

### 5. Valoración de los Servicios Ecosistémicos en las cuencas:

- El valor de los servicios ecosistémicos del agua: conservar un flujo de beneficios continuo y de producir servicios que puedan ser disfrutados por la población. Para realizar esta valoración, se consideraron los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento (tangibles), de regulación (indirectos o intangibles) y culturales (como la belleza paisajística de los paisajes).

### 6. El territorio como base del conocimiento:

- Proceso de construcción colectiva y multisectorial: trabajo debe ser desarrollado con los territorios, permitiendo contrastar los resultados con las sensibilidades de los habitantes locales, dando coherencia a la base técnica elaborada y los problemas locales.

La Hoja de Ruta brinda información que es de gran utilidad para la construcción de la guía comprometida dentro de los objetivos de esta consultoría. Además, cuenta con un ejemplo en territorio nacional, en el cual se implementaron una serie de medidas, siendo algunas de ellas SbN, incorporando información útil como beneficio anual (USD), inversión (USD), VAN(USD), relación beneficio/costo y cantidad de agua recuperada (m<sup>3</sup>/año).

### 2.2.3.5 Estimación de la Demanda Actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile

Este instrumento publicado el año 2017, presenta una herramienta para cuantificar y clasificar la calidad de las aguas, que trabaja con un indicador en base a clases de Calidad de los parámetros descritos en la Tabla 2.8, cuyos valores de corte se presentan en mg/L. Estos valores de corte se calculan a través de la interpolación lineal entre las concentraciones límites de cinco clases de calidad (0 a 5) definidas a partir de cuatro valores de corte (VC1 a VC4), asociados a límites máximos presentados en distintas normas nacionales e internacionales o recomendaciones vigentes de calidad de agua para distintos usos. Estas clases de calidad se asocian a distintas condiciones cualitativas químicas de los acuíferos en estudio.

Tabla 2.8: Clases de Calidad y sus Valores de Corte según Parámetros Considerados. Fuente: DGA-GEOH, 2009.

N	Clase	SDT	Cloruros	Calcio	Sulfatos	Sodio	Magnesio	Nitratos	Plomo	Fierro	Arsénico
1	Excepcional	1200	250	100	250	200	100	10	0,01	0,3	0,01
2	Buena	1500	400	200	500	200	125	50	0,05	0,3	0,01
3	Regular	2000	1064	401	961	920	250	133	5	5	2
4	Insuficiente	6000	1600	4000	10000	6000	2500	200	5	200	4
5	Intratable	6000	1600	4000	10000	6000	2500	200	5	200	4

A partir de los resultados del Índice de Calidad individual para cada parámetro considerado, se calcula el Índice de Calidad (IC) general en base a la categorización detallada en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9: Consideraciones para el cálculo del IC general. Fuente: DGA-GEOH, 2009.

IC Individual	Resultado IC General	Condición
Si existe un parámetro con IC Intratable.	IC general es Intratable.	Si $IC_{individual} > 4$ $IC_{general} = 5$
Si alguno de los parámetros que afectan la salud humana, según NCh 409, presentan IC Bueno, Regular o Insuficiente.	IC general es el peor IC individual de todos los parámetros.	Si $1 < IC_{individual} \leq 4$ $IC_{general} = \max(IC_i)_{i=parámetro}$
Si todos los parámetros que afectan la salud humana, según NCh 409, presentan IC Excepcional.	IC general es el promedio aritmético del IC individual de todos los parámetros.	Si $IC_{individual} \leq 4$ $IC_{general} = \frac{\sum_{i=parámetro} IC}{n^{\circ} parámetros}$

Los valores de las concentraciones asociadas a clases de calidad fueron determinadas utilizando como base, recomendaciones, normativa nacional e internacional dadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la NCh409 y la NCh777/1 (DGA-GEOH, 2009).

Cabe señalar que los elementos que son monitoreados en Chile corresponden a solo aquellos que se encuentran normados, sin embargo, existen varios metales y contaminantes que no se encuentran regularizados y, por lo tanto, no se clasifican como contaminantes, a pesar de estar definidos como contaminantes internacionalmente.

Se rescata este indicador, puesto que la implementación de una SbN requiere de información, tanto para la realización de un diagnóstico para el área de estudio, como para, posteriormente, realizar el monitoreo, reporte y verificación de cumplimiento de las medidas establecidas, mediante indicadores previamente definidos. Este índice significa una forma de brindar información respecto de la calidad de las aguas de forma local en todos los lugares donde exista la información necesaria para ello.

### 2.2.3.6 Escenarios Hídricos 2030- EH2030

Corresponde a un documento elaborado por Fundación Chile el año 2019. Este documento es un portafolio de 212 medidas, acciones y soluciones referidos a Seguridad Hídrica, de los cuales algunos corresponden a SbN. Estas van desde medidas de gestión hasta acciones técnicas concretas. Dichas acciones presentan 11 objetivos que permiten mejorar la SH, de los cuales las soluciones propuestas deben abordar al menos uno. Los objetivos o tipos de soluciones detallados son definidos a continuación:

- **Captar:** volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios. En algunos casos, también se considera el agua atmosférica.
- **Trasvasar:** obras hidráulicas que permiten trasladar agua de una zona geográfica a otra mediante sistemas de conducción.
- **Regular:** referido al servicio ecosistémico de gestionar el exceso de agua y eventos extremos.
- **Optimizar:** referido a reducir el uso o pérdida de agua.
- **Recargar:** métodos naturales y artificiales que permiten infiltrar agua en los acuíferos.
- **Almacenar:** mecanismos para guardar temporalmente el agua para su posterior aprovechamiento.
- **Tratar:** operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico para la eliminación o reducción de contaminantes o parámetros no deseables de las aguas.
- **Monitorear:** corresponde a la recolección, análisis y difusión de información sobre el recurso y ecosistemas asociados.
- **Reusar:** aprovechamiento de un recurso hídrico previamente utilizado en alguna actividad después de someterlo a un tratamiento.
- **Gestionar:** se refiere a los mecanismos e instrumentos normativos, institucionales y financieros para una mejor gestión de intervenciones y coordinación entre usuarios, instituciones públicas, privadas y fiscalizadores del recurso hídrico.
- **Conservar:** es el uso y aprovechamiento racional o la reparación, en su caso, de los componentes del medio ambiente, especialmente aquellos propios del país que sean únicos, escasos o representativos, con el objeto de asegurar su permanencia y su capacidad de regeneración (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

Para cada medida, acción o solución reportada en el documento se muestra, además, una serie de sectores que, se podrían ver beneficiados con su implementación. Los sectores definidos son: industrial, forestal, minería, agrícola, pecuario, agua potable y saneamiento, servicios, áreas verdes y medio ambiente, los cuales se relacionan con los definidos en la LMCC. Por ejemplo, una de las medidas propuestas dentro de este documento es la infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río, la cual, de acuerdo a lo reportado por el documento, beneficiaría a todos los sectores, lo que se debe a que, al incrementar la alimentación del acuífero, generaría el aumento de la cantidad de aguas subterráneas, las que pueden ser utilizadas para distintos fines, trayendo consigo beneficios transversales.

### 2.2.4 Síntesis Marco Nacional

Los documentos anteriormente citados consideran definiciones de Seguridad Hídrica referidas al acceso al agua en una cantidad y calidad adecuada. En los estudios se presenta a Chile como un país vulnerable al cambio climático y se mencionan los efectos de este evidenciados en la disminución de las precipitaciones, lo que implica una menor disponibilidad del recurso hídrico. Se establece la variabilidad temporal y espacial de los recursos hídricos en el país y se muestra que, en una parte importante del territorio nacional, los usos antrópicos, cuantificados mediante los Derechos de Aprovechamiento de Aguas, sobrepasan la disponibilidad hídrica, lo que implica que estos territorios no poseen SH.

En respuesta se presentan una serie de instrumentos normativos como la Ley Marco de Cambio Climático (LMCC), la actualización de la Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP), la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) y la reforma al Código de Aguas que buscan dar lineamientos a distintas escalas para lograr este fin.

## 2.3 Análisis y conclusiones de la revisión de antecedentes

La literatura citada en general define la Seguridad Hídrica como el acceso equitativo de una cantidad y calidad de agua para salud (o bien un acceso a una disponibilidad hídrica), población, ecosistemas y para la producción junto con un nivel aceptable de riesgos asociados a las personas, su medio y economía, siendo descrita como una meta social fundamental para las políticas públicas y manejo del agua. Se señala, además, que este acceso a agua potable segura y suficiente debe ser a un costo asequible para satisfacer las necesidades básicas, que incluyen saneamiento e higiene.

La literatura revisada brinda dos índices para cuantificar la Seguridad Hídrica. En términos de cantidad, se presentan el Índice de Estrés Hídrico (WSI por sus siglas en inglés), que calcula el riesgo de escasez hídrica, es decir, el opuesto a la Seguridad Hídrica. A medida que un territorio tenga mayor riesgo hídrico, tendrá menor SH. En cuanto a la calidad, se muestra el Índice de Calidad que analiza una serie de variables dentro de un curso de agua, generando un Índice de acuerdo con una serie de criterios expuestos tanto en la Tabla 2.8 como en la Tabla 2.9.

Resulta necesario destacar lo dispar que resulta cuantificar cantidad por sobre calidad. La primera brecha que se asoma es que justamente es necesaria una línea base de calidad no solo en fuentes sino de las necesidades ecosistémicas. En este sentido puede ser cuestionable a futuro como garantizar que una SbN presente un beneficio en calidad si no se conoce la línea base o que no haya una pérdida de biodiversidad si también se carece de una historia de indicadores de monitoreo específicos.

La Seguridad Hídrica presenta como gran amenaza al cambio climático, cuyos efectos en Chile se verán reflejados mediante inundaciones y sequías más frecuentes. Las inundaciones aumentan la descarga de sedimentos, causando una degradación de la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos en algunas zonas, mientras que las sequías traen consigo una disminución de la disponibilidad de recursos hídricos. Los antecedentes presentados muestran que en Chile hay sequía y escasez hídrica en algunas zonas. A diferencia de la sequía, que es un fenómeno meteorológico, la escasez hídrica depende de las decisiones que se tomen respecto del uso del agua (Van Loon et al., 2013; Van Loon et al., 2016).

Este aspecto es clave, técnicamente, las SbN que se han levantado o recopilado están enfocadas en combatir escasez, porque la escasez depende por una parte de la oferta hídrica, la que rara vez se puede modificar, sino que es más bien una forzante, y la demanda con su gestión de abastecimiento y patrones de consumo. En esa arista es donde las SbN pueden proporcionar fuentes adicionales de abastecimiento, redistribuir el recurso, mejorar la calidad, etc. Técnicamente, puede existir escasez y no haber sequía, y cuando un sistema se vuelve resiliente, es factible que ante episodios de sequía se pueda evitar episodios de escasez más críticas, pero no hay en este momento un grupo de SbN que pueda prevenir una sequía prolongada de 10 años como la megasequía que afectó a Chile Central.

Tanto la LMCC, como la ECLP y la NDC se muestran como instrumentos que buscan dar lineamientos para la implementación a distinta escala del concepto de Seguridad Hídrica y se consideran como un buen inicio para ello. Sin embargo, los planes de adaptación sectoriales no utilizan este concepto de forma integral, enfocándose en medidas que, en general, buscan salvaguardar la cantidad de agua mediante la gestión eficiente del recurso hídrico, la construcción y mejora de infraestructura diseñada para este fin, además de un sistema de monitoreo de amenazas. No se aprecian medidas profundas que busquen mejorar la calidad de las aguas para el territorio nacional.

Para alcanzar SH se busca alcanzar dos aspectos fundamentales a cualquier escala: aumentar la contribución de la producción de agua hacia la población, el bienestar ecosistémico, ciudades y organización y manejo del recurso; minimizar los impactos de carácter destructivo sobre la sociedad, su economía y ecosistemas que resultan tanto de eventos de exceso (inundación), disminución (sequías) y de calidad (contaminación) de agua.

Lograr el acceso al recurso hídrico requiere que el reparto entre los usuarios sea justo, eficiente y transparente a un costo abordable para cualquier usuario y en cualquier escala espacial, considerando la variabilidad temporal de este. Los esfuerzos que debe mantener un foco interdisciplinario, que permita una

contribución hacia el desarrollo socioeconómico y al refuerzo de la resiliencia social a los impactos ambientales y enfermedades sin comprometer la salud actual y futura de la población.

Analizando la Normativa vigente, se visualizan las siguientes brechas que impiden alcanzar Seguridad Hídrica en el territorio nacional (Fuster et al, 2017 y Stehr et al, 2019):

a) Red de monitoreo y datos hidro-meteorológicos:

En Chile faltan datos hidrometeorológicos (DGA, 2017a), además su densidad de datos es baja en comparación con otros países. Por ejemplo, Suiza tiene una densidad de una estación de temperatura por cada 475 km<sup>2</sup> y una de precipitación por cada 100 km<sup>2</sup>, mientras que en Chile se tiene una estación por cada 818 km<sup>2</sup> y 1.364 por km<sup>2</sup>, respectivamente (y hay una estación meteorológica por cada 1.100 km<sup>2</sup>), lo que deja en evidencia la necesidad de avanzar en una red robusta de información. Adicionalmente, la realidad climática de cada región de Chile es distinta, si bien la densidad ideal es de una estación cada 250 km<sup>2</sup>, no tiene sentido medir precipitación en la mitad del desierto, pero si tiene sentido medir evaporación y otros flujos en ese clima. Si bien el estándar que se tiene busca ser homogéneo, muchas veces conviene primero analizar que flujos son los que se deben medir y con qué objeto, no sólo apuntando a la cuantificación, sino también a los requerimientos ecosistémicos que puedan existir y proveer un fundamento técnico a la hora de garantizar criterios de no impacto en la biodiversidad.

b) Impacto en la productividad biológica:

Establecer el impacto en la productividad biológica es otro de los temas pendientes y a la vez clave para poner en contexto los posibles efectos de una reducción de las descargas de agua dulce, en caso de materializarse los megaproyectos de trasvase de agua desde el sur al norte de nuestro país y de construcción de embalses.

c) Equidad hídrica:

Para el Banco Mundial (2013), Chile debe incorporar en la gestión del agua la participación de todos los interesados, no solo los que tienen Derechos de Aprovechamiento de Aguas, y tener reglas para los grupos vulnerables. Con ello, se pretende asegurar la disminución de los conflictos actuales y asegurar la mantención de los servicios ecosistémicos para las futuras generaciones. Esto debe evolucionar a una equidad hídrica con conciencia de género, procurando la participación de jefas de familia, las que muchas veces tienen a cargo las labores primarias de subsistencia.

d) Control de la seguridad de obras de infraestructura:

Dentro de estos vacíos está el control de la seguridad de presas que no hayan sido construidas con fondos fiscales. En efecto, este control no ha sido contemplado en la legislación de la DOH y en la DGA. En la Ley solo existe un enunciado general que se ha implementado de manera débil. Este es un vacío importante y que encierra riesgos y conflictos potenciales de magnitud atendida la cantidad de presas y el riesgo sísmico e hidrológico de las cuencas chilenas. A diferencia de la mayoría de los países de similares condiciones, en Chile no se contemplan catastros públicos de la infraestructura de las presas, ni sistemas de monitoreo continuo e independiente de la operación y de las condiciones de seguridad. Los concesionarios, dueños o usuarios de estas obras no están técnicamente auditados ni sometidos a protocolos de observación, procesamiento y divulgación de la información correspondiente. Por ello, se propone reformar la ley en estos sentidos y, además, crear un Servicio del Dominio Público Hidráulico y Seguridad de Presas (SDPHSP) que quedaría bajo el control de la Subsecretaría del Agua que se propone instalar en el país.

e) Calidad del agua:

La falta de precisión y esfuerzos de monitoreo respecto de la determinación de la cantidad de agua es aún más evidente en el caso de la calidad del agua, pues la información básica sobre la presencia de contaminantes en el agua, y más aún en la determinación de los impactos derivados de la calidad del agua en Chile, son insuficientes.

Una brecha importante en Chile es la falta de normas de calidad (primarias o secundarias), lo que puede ser un impedimento para la mantención de la calidad de agua en cuencas donde la calidad aún es buena, o mejorar la calidad donde existen zonas saturadas. En cuanto al sector agrícola, dado el impacto de los fertilizantes sobre cuerpos de agua asociados, es importante generar monitoreos no solo de fertilizantes, sino que se deberían incluir las aguas adyacentes a las cuencas y predios evaluados, ya que el nitrógeno es móvil y llega al agua. También se propone la alternativa de generar de normas secundarias de calidad del agua que impidan el uso excesivo de fertilizantes puede ser una alternativa.

Finalmente, tanto la investigación como el monitoreo de contaminantes emergentes o contaminantes derivados de productos de uso personal y farmacéutico son prácticamente inexistentes a nivel país.

Sin embargo, lo que es más relevante en este momento es cruzar esta información disponible de calidad con los ecosistemas y los objetos de protección como la biodiversidad. Necesariamente aquellos objetos sin información no podrán tener línea base y paralelo a la acción que se puede efectuar en las zonas monitoreadas, no se pueden dejar de lado la implementación del monitoreo en zonas donde no existe información, pues se podría no estar incluyendo una problemática más allá de la SH. Finalmente, se observa una falta de normativa para ciertos contaminantes que se encuentran regulados internacionalmente, pero no en Chile, como es el caso del perclorato y clorato, cuya presencia ha sido evidenciada en el agua potable de Copiapó, La Serena y Coquimbo en concentraciones sobre los límites recomendados por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), y cuya contaminación además, está fuertemente vinculada al uso de combustibles, explosivos, fertilizantes y herbicidas.

f) Protección de reservas hídricas:

Dentro estas reservas se encuentran las formas de agua en estado sólido en la cordillera como, por ejemplo, los glaciares heredados de la última glaciación que constituyen una reserva estratégica ante la reducción de las precipitaciones que se está registrando como consecuencia del cambio climático. Cabe señalar que solo está definido en la reforma al Código de Aguas que no se podrán constituir derechos de aprovechamiento en glaciares. A esto se suman otros recursos de carácter multianual (neviza, penitentes, permafrost andino) como estacional (nieve). Todos estos cuerpos de agua congelada requieren de normas y acciones que apunten a minimizar los efectos sobre su balance de masa que derivan de acciones e impactos humanos.

g) Gobernanza:

A nivel nacional faltan instancias de diálogo vinculante entre los diferentes actores dentro de una cuenca, lo que se suma a un déficit en la constitución de Organización de Usuarios de Agua (OUA) y de actores relevantes en instancias de gestión a nivel de cuenca (MOP, 2012), además de un insuficiente nivel organizativo y de gestión en ellos. También se reconoció una escasa capacidad técnica de organizaciones de usuarios, organizaciones de APR e instancias de gobernanzas. Finalmente, la existencia de la figura de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas condiciona la gestión del recurso y la gobernanza, existiendo diversas realidades a lo largo del país, asociadas principalmente a la participación y a la toma de decisiones, elementos que determinan la dinámica social y administrativa del recurso hídrico.

h) Gestión integrada del recurso hídrico:

Según la Fundación Amulén (2019), solo el 41% de las comunidades rurales semiconcentradas<sup>6</sup>, tienen acceso a agua potable, lo que equivale a unos 115.000 habitantes (Banco Mundial, 2021). Esta cifra indica una falta significativa de cobertura, lo que obliga a esta población a buscar otras fuentes de agua cuya calidad no está garantizada, lo que a su vez aumenta el riesgo de transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis A y la fiebre tifoidea (Fundación Amulén, 2019).

---

<sup>6</sup> Localidad rural es semiconcentrada: cuenta con una población mínima de 80 habitantes y una densidad de al menos ocho viviendas por km de RPA.

La situación se agrava debido a que los planes reguladores comunales e interurbanos existentes no abarcan toda la superficie de la cuenca, lo que resulta en áreas con carencias en la gestión de aguas a nivel de cuenca o unidad territorial mayor. Esto aumenta los conflictos entre los distintos actores involucrados. Además, existe una escasa interconexión, planificación y diseño entre los proyectos y los distintos usos del agua. Por lo general, cada sector (agricultura, minería, etc.) desarrolla planes con un enfoque limitado que solo busca el logro de los objetivos o metas propuestos por ese mismo sector. Por último, se ha identificado una escasa implementación de gestión conjunta entre el agua subterránea y superficial.

Por lo mismo cuesta también comprender decisiones como la eliminación de la Unidad de Nieves y Glaciares (UNG) de la DGA, la que ahora es absorbida por la división de Hidrología del MOP. De cierto modo, la creación de UNG era parte de una medida de adaptación frente al cambio climático y que permitía tener una línea de avance más independiente.

De la revisión efectuada, y si bien pueden existir un sinnúmero de amenazas, desde aumentos de temperatura, bajas en la escorrentía futura, aumento de eventos extremos secos y húmedos, reducción de masas glaciares, con las consecuentes pérdidas de la capacidad de respuesta del sistema y, por ende, la disminución de la capacidad de resiliencia natural del sistema, la tarea de alcanzar la Seguridad Hídrica debe cumplir con criterios y requerimientos específicos.

No se puede hablar de SH sin cuantificar los balances de masas de las cuencas al menos con una mediana precisión de manera de comprender como se está llevando a cabo la gestión del agua, de ahí la relevancia de los nuevos planes de recursos hídricos que se manifiestan en la LMCC. Estos balances deben estar sustentados en herramientas de gestión que permitan la evaluación de alternativas de solución, pero un problema que se vislumbra es que la escala temporal de las SbN no coincida con la de los modelos de disponibilidad, en otras palabras, estudiar, por ejemplo, una recarga artificial detallada, requerirá de una precisión a nivel diaria u semanal que esté relacionada con la existencia, por ejemplo, de los turnos de riego. Sin embargo, la mayoría de los modelos de disponibilidad funcionan a escala mensual (Aconcagua) y otros en una escala semanal (Petorca). Además, las SbN muchas veces combinarán objetos de protección asociadas a fuentes de abastecimiento diferentes, por lo que entender el comportamiento subterráneo y su relación con la biodiversidad es tan relevante como entender la distribución superficial del agua y la interacción entre ríos y acuíferos (herramientas acopladas u integradas).

Lo anterior, si bien ya tiene una alta complejidad técnica y computacional, se añade el hecho de que en algunos sistemas será necesario contar con modelaciones de calidad de agua, por ser sistemas expuesto a, por ejemplo, derrames de relaves, residuos de la aplicación de pesticidas en cosechas, estancamientos de agua, etc.

Tener esas herramientas disponibles para el territorio supone un esfuerzo relevante a la priorización de los sistemas, pensando primero en los objetos de protección donde es necesario alcanzar la Seguridad Hídrica.

### 3 MARCO CONCEPTUAL SH

#### 3.1 Propuesta conceptual para incluir SH en la adaptación

Para fines de este estudio se ha decidido definir el concepto de Seguridad Hídrica como la posibilidad de tener acceso al agua en cantidad y calidad aceptables, es decir, permitiendo la subsistencia de la vida humana, la preservación de los ecosistemas y el desarrollo productivo, considerando para ello una escala espacial dinámica (cuencas, ríos, ciudades, etc.), promoviendo servicios hídricos resilientes, capaces de evitar, mitigar y adaptarse a los peligros y amenazas que enfrenta el sistema hídrico y minimizando los impactos de carácter destructivo sobre la sociedad, su economía y ecosistemas que resultan tanto de eventos de exceso (inundación), disminución (sequías) y de calidad (contaminación) de agua. Se requiere un reparto justo, eficiente y transparente entre los usuarios a un costo abordable para cualquier usuario y en cualquier escala espacial, considerando la variabilidad temporal del recurso.

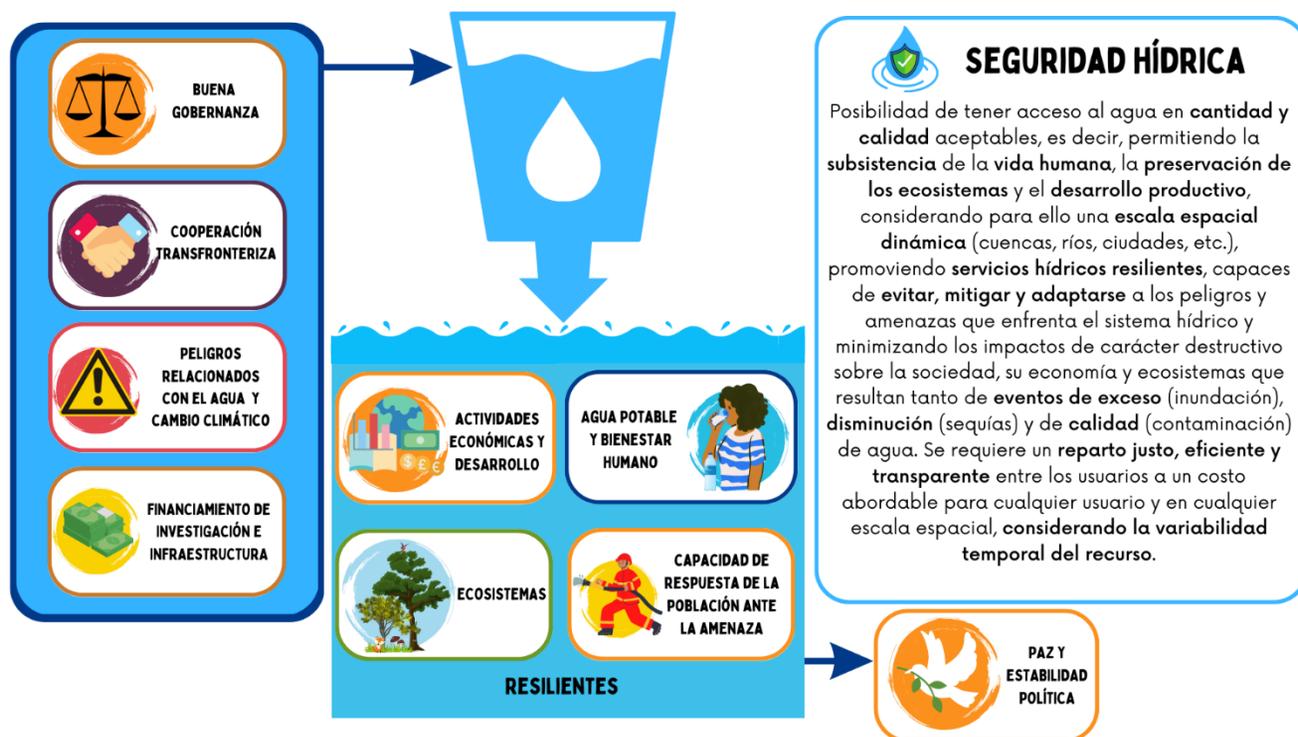


Figura 3.1: Marco Conceptual propuesto de Seguridad Hídrica para este estudio. Fuente: Elaboración propia.

Uno de los aspectos a destacar de esta conceptualización, la cual está basada en los marcos conceptuales de la IUCN, es que la buena gobernanza actúa como un factor positivo relevante a la hora de alcanzar la SH, en la medida de que ésta releve los objetivos de desarrollo sostenible, las metas de alcanzar acceso y saneamiento estos objetivos contribuirán a alcanzar la SH. Sin embargo, no se debe entender que, si no hay buena gobernanza o si no existe, por ejemplo, la mejor estabilidad política, significa que no se pueda alcanzar la SH. De hecho, es todo lo contrario. Significa básicamente que probablemente los acuerdos en términos de marcos normativos y legales tendrán un orden de prelación a las medidas. Si se desea ver el caso chileno, recién en la Ley Marco de Cambio Climático del año 2022 apareció una definición “legal” de lo que debe de procurar la SH, más allá si esta se alcanza o no con SbN. Eso no significa que todas las políticas públicas anteriores no hayan servido, sino que da cuenta del camino que tuvo que recorrer el país para formalizar un determinado concepto que sienta una base transversal en materias tan controversiales como el agua. Toda la información técnica y políticas públicas ha contribuido en efecto a expresar la SH como una meta del estado de Chile y que no dependa del gobierno puntual que esté a cargo.

Cabe mencionar que en aquellos casos donde existan recursos transfronterizos, como en el norte y extremo austral de Chile, la colaboración entre países será vital para hacer un manejo transparente y respetuoso del recurso, sobre todo procurando no introducir especies ni contaminación cruzada, como lo ha sido en Dydimo en la Patagonia Chilena.

Clarificar y estudiar cuáles son los peligros relacionados con el agua, y aquellos que crecerán con la aparición de condiciones adversas productos del cambio climático será vital para la prevención, combate y generación de resiliencia de los sistemas hídricos. Cada región de Chile estará afectada a distintas amenazas, con diferente intensidad y por tanto la prioridad en cómo combatir y plasmar la estrategia hacia la Seguridad Hídrica será dependiente del territorio.

En este sentido es clave el financiamiento de una investigación científica rigurosa y de una infraestructura resiliente en las ciudades.

En la medida que se alcance la SH, las actividades económicas y el desarrollo socioeconómico podrán construirse y proyectarse en armonía con el ecosistema, procurando suministrar un agua potable de calidad, pero también procurando abastecer en una cantidad de agua justa con los otros usuarios, a un precio accesible, apuntando a reducir la importante brecha en las tasas de consumo que existen actualmente entre regiones y entre comunas de una misma región.

Sin embargo, el objeto de protección no puede solo ser el asociado a la población urbana y rural, sino también a los ecosistemas. En este sentido, instrumentos como los consejos de cuenca cobrarán gran importancia y los planes de adaptación debiesen incluir instancias de coordinación que usen a estos consejos para que las medidas y objetivos de cada plan penetren realmente en los responsables de la gestión del agua a nivel privado y público.

Cada población y ciudad debe de estar capacitada y educada en el uso responsable del recurso, tanto a nivel de los consumidores, como de productores del suministro servicio, como de los diversos usuarios de los distintos sectores productivos que requieren el recurso, conociendo sus limitaciones, y minimizando los impactos operativos hacia el medio ambiente común.

Todas estas actividades: el suministro del agua (calidad y cantidad) para el bienestar humano, el desarrollo socioeconómico armónico con el ecosistema y la capacidad que como sociedad tengamos de responder frente a las amenazas territoriales, deben de gestarse de un marco de resiliencia, fomentando el conocimiento tanto de las amenazas como de nuestro propio medio y actividades, de manera de minimizar el riesgo y el impacto, y de aumentar la capacidad de respuesta de nuestra sociedad.

El logro de Seguridad Hídrica a través de una transición justa irá gratamente generando mayor paz y estabilidad política, actores más comprometidos con la transparencia y el cumplimiento de objetivos comunes. Se debe procurar esta conducta hacia este logro, independiente de que no se comience con un buen piso de ella, producto de factores limitantes como la pobreza, el acceso y las brechas de gobernanzas.

### 3.2 Criterios mínimos al momento de definir SH

Los criterios establecidos para definir Seguridad Hídrica se muestran en la Figura 3.2, cuyo detalle se explica a continuación.

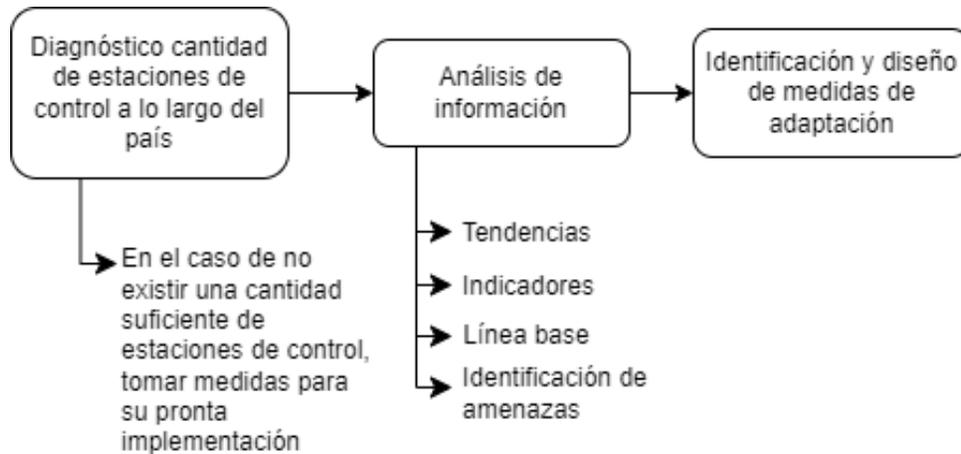


Figura 3.2: Pasos a seguir para definir SH e implementación de medidas. Fuente: Elaboración propia.

Alcanzar la Seguridad Hídrica requiere primeramente de un diagnóstico de la cantidad de información disponible. Se recomienda una red que monitoree la cantidad (estaciones pluviométricas, fluviométricas, etc.) y calidad (diagnóstico de diferentes variables con énfasis en los elementos nocivos para las personas establecidos en la Norma Chilena 409) de los recursos hídricos en las distintas secciones que conforman una cuenca, pero que se pueda abrir a otro uso productivo con un requerimiento específico, como lo es por ejemplo la norma de riego o las normas de aguas grises.

El paso siguiente es analizar la información con la que se cuenta, identificando tendencias de las distintas variables en estudio, esto con el fin de realizar un diagnóstico de la situación actual y sus proyecciones. En este punto es importante utilizar los indicadores de cantidad como el Índice de Estrés Hídrico (WSI) y de calidad como el Índice de Calidad. En cuanto a las proyecciones para cantidad se sugiere utilizar las proyecciones a escala de cuenca presentadas como producto para este proyecto que se presentan en el Apartado “Herramientas y ejemplos asociados a SH”, específicamente en la sección 5.1.1 de este Anexo.

El análisis de información debe realizarse teniendo como referencia una línea base previamente definida. Esta línea base depende del objeto de protección, lo que implica conocer el uso que se le quiera dar al agua. Por ejemplo, la Reforma al Código de Aguas promulgada el año 2022, prioriza el consumo humano, por tanto, el agua destinada para este fin debe tener una línea base referida a cantidad y calidad, que en este caso podría ser la cantidad de agua que necesita una persona para satisfacer sus necesidades básicas para consumo, cocina y limpieza y, en términos de calidad, lo establecido por la NCh409. Esta línea base para el consumo humano va a ser distinta a la definida para el mantenimiento de la biodiversidad (por ejemplo, el caudal ecológico) y la referida a las actividades agrícolas que en términos de calidad es lo definido por el capítulo 6, Requisitos del agua para riego de la NCh1333. Cabe señalar que, en algunos casos, las líneas base deberán ajustarse a cada ecorregión y/o clima.

Para el análisis de amenazas a nivel de cuenca se deben considerar dos ejes: el efecto del cambio climático y de las actividades antrópicas. Para el primero es necesario identificar y evaluar los distintos riesgos climáticos presentes y futuros que afectan los territorios, sistemas naturales, humanos y productivos. Para el segundo, la cantidad de agua requerida por las distintas actividades presentes en una cuenca y la contaminación a los recursos hídricos que estas generan.

Posteriormente, se inicia una fase de identificación y diseño de medidas de adaptación, cuyo objetivo es enfrentar y minimizar los riesgos identificados. La implementación de estas medidas puede abocarse a reducir los grados de exposición frente a las amenazas, o a disminuir la vulnerabilidad frente a ellas o aumentar la resiliencia de los sistemas. Independientemente cuáles sean las medidas a implementar, estas deben contar con indicadores de monitoreo, reporte y avance.

Acá cobra relevancia lo discutido en el acápite 2.3, respecto de que, para también evaluar medidas, hay que tomar algunas consideraciones relevantes:

1. No es posible alcanzar la SH con una medida de SbN, se debe pensar en un grupo de medidas que se integren con otras asociadas a infraestructura verde o gris.
2. Para poder priorizar las SbN, se debe ser capaz de responder por los criterios de las SbN. No es aconsejable exigir todos los criterios, tal como lo señala el informe, pero sí dar cuenta que las medidas traigan cobeneficios positivos, sean costo-eficientes, no dañen o perjudiquen la biodiversidad ni produzcan efectos negativos a terceros. Solo ya esos criterios suponen un gran esfuerzo para la aplicación de este tipo de soluciones, y, por ende, existirán medidas que quizás no cumplan el subconjunto de criterios, pero que guardan el potencial de convertirse en una buena solución.
3. Lo más probable es que para poder entonces evaluar el carácter de la medida como una SbN orientada a alcanzar la SH, sea necesario contar con herramientas de gestión actualizadas, que consideren las distintas fuentes de abastecimiento del recurso y su interacción. Para esto será clave entender la escala temporal a la que opera cada solución y será más que necesario contar con una línea base de información para poder garantizar que “no exista un impacto negativo en la biodiversidad”. Esto sin duda podría revestir un carácter recursivo en el problema, por lo que sería recomendable hablar de un “impacto acotado o reducido” que no ponga en peligro la existencia de la biodiversidad local, pero es difícil garantizar que una medida NO tenga un impacto.

A modo general, se debe considerar que los riesgos climáticos no son los mismos para todo el territorio nacional, por ejemplo, el “Plan de acción para la protección y conservación de la biodiversidad, en un contexto de adaptación al Cambio Climático” (Fundación Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile, 2013) muestra que las precipitaciones tendrían una marcada disminución en la ladera occidental de la Cordillera de los Andes, correspondiente a Chile continental y el Pacífico adyacente, particularmente en latitudes medias y en las estaciones de verano y otoño. Un detalle regional, respecto de las precipitaciones, permite establecer que:

- En el sector altiplánico chileno habría un aumento en primavera y verano.
- En el Norte Chico habría un incremento en otoño en la faja comprendida entre 20 y 33° S.
- En la región de Chile Central habría una disminución generalizada, con una pérdida del orden del 40% en las tierras bajas, ganando en magnitud hacia la ladera andina durante el verano.
- La Región Sur exhibiría una transición hacia los montos del clima actual durante otoño e invierno; durante el verano, la disminución sería del orden de 40%, reduciéndose en primavera en un 25%.

Como consecuencia, se pronostica una reducción generalizada de las precipitaciones en el territorio nacional, especialmente en las Zonas Centro y Sur, con una importante reducción del área andina con capacidad de almacenar nieve, y en consecuencia de regular los caudales a lo largo del año.

En cuanto a la escasez hídrica la literatura citada, muestra que la Zona Norte concentra las cuencas que, de acuerdo con el WSI, sobrepasan los límites físicos, mientras que aquellas que tienen un riesgo bajo y por lo tanto un buen nivel de SH, se ubican en la Zona Sur y Austral del país (Alvarez-Garretton et al., 2022).

Referente a la calidad de las aguas, el documento “Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático” (Stehr et al., 2019) señala que el tipo de contaminación del agua varía según la macrozona, lo que deriva, por lógica, del uso preponderante del agua. En general, en la zona norte, la minería ha generado históricamente contaminación por metales derivados de vertidos, almacenamiento, transporte de concentrados minerales y relaves con cantidades desconocidas de químicos con potencial tóxico como cobre, arsénico y cadmio, con lo que contamina ecosistemas costeros, aguas superficiales (Castilla, 1983; Castilla y Nealler, 1978; Schalscha y Ahumada, 1998), e incluso altos porcentajes de sulfato y metales pesados se han determinado en la niebla (nitrato, arsénico y selenio) (Sträter et al., 2010). Además, en zonas agrícolas del norte, se encuentra salinización del suelo y del agua subterránea debido a la escasez de precipitaciones, la alta evaporación y la evapotranspiración (Donoso et al., 1999).

En la zona centro, la agricultura y la expansión urbana han generado contaminación, sobre todo la generada por nutrientes (fertilizantes) y contaminación difusa agroquímica de nitrógeno, en especial para la contaminación del agua subterránea con nitratos (Donoso et al., 1999). En este contexto, es importante destacar la dificultad de determinar y monitorear la contaminación de fuentes no puntuales derivada del uso agrícola (Ribbe et al., 2008). Se pueden encontrar problemas de calidad del agua en el centro de Chile, donde se encuentra la mayor parte del desarrollo urbano, sobre todo aguas abajo de las áreas urbanas, debido a la descarga de aguas residuales tratadas durante el verano (Debels et al., 2005).

En la macrozona sur ha aumentado la contaminación por nitratos y fósforo de los lagos que contribuyen a los procesos de eutrofización (Steffen, 1993). Esta contaminación está subsidiada por procesos de dilución debido a la gran cantidad de precipitaciones en la macrozona, pero que podrían cambiar si se reducen estas.

A modo general, Stehr et al., 2019, recomienda que la unidad natural de planificación territorial debiese ser la cuenca hidrográfica, ya que en el estudio este nivel permitirá hacer balances restringidos a variables geográficas relativas a los servicios ecosistémicos de la cuenca, lo que favorece la gestión local y fortalece la distribución sustentable del recurso. Además, permite estudios estadísticos para reducir la incertidumbre mediante indicadores de medición, reporte y verificación. Se recomienda avanzar hacia la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca, en la que el agua es un valor ambiental, social y productivo, que incluya la gestión integrada del agua (superficial y subterránea) y entre ella y los usos del territorio.

También se aconseja que, al momento de hacer intervenciones a nivel de la cuenca, se debe evaluar cómo estas afectarán el funcionamiento de la cuenca y su zona costera adyacente. Dada la diversidad geográfica y climática de Chile, no hay una única solución para todo el país, lo que hace importante evaluar distintas alternativas o una combinación de soluciones, considerando que los efectos socioambientales son específicos de cada sitio.

En este punto es cuando se deben considerar las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como una alternativa que puede sustituir, complementar o salvaguardar la infraestructura gris tradicional.

Se debe relevar el rol de los ecosistemas naturales en la generación de cantidad y calidad del agua, avanzando en Soluciones basadas en la Naturaleza, como la protección de humedales y bosques, junto con actividades de restauración de ecosistemas degradados, sabiendo que estas además traen una serie de cobeneficios asociados a los servicios ecosistémicos de cada uno. Para ello, se sugiere crear incentivos económicos, como avanzar en sistemas de pago por servicios ecosistémicos.

Un ejemplo de implementación de SbN para el sector de infraestructura, sería el siguiente. Este considera los lineamientos dados por el enfoque metodológico de decisión respecto a la incorporación de análisis de cambio climático por tipología de infraestructura (Figura 3.3). Se propone para el caso en que una obra se encuentre en la etapa de planificación/estrategia, utilizar infraestructura verde (SbN) que cumpla con el objetivo abordado por el proyecto para sustituir una infraestructura gris tradicional. De no ser así, abordar SbN para complementar o salvaguardar dicha infraestructura gris. Incluir este tipo de soluciones desde las etapas iniciales del proyecto ayuda a optimizar los resultados y garantizar la eficiencia de este (BID, 2020). Finalmente, para el caso de que una obra se encuentra en etapa de Factibilidad/Diseño, incorporar SbN para complementar o salvaguardar la infraestructura gris a construir.

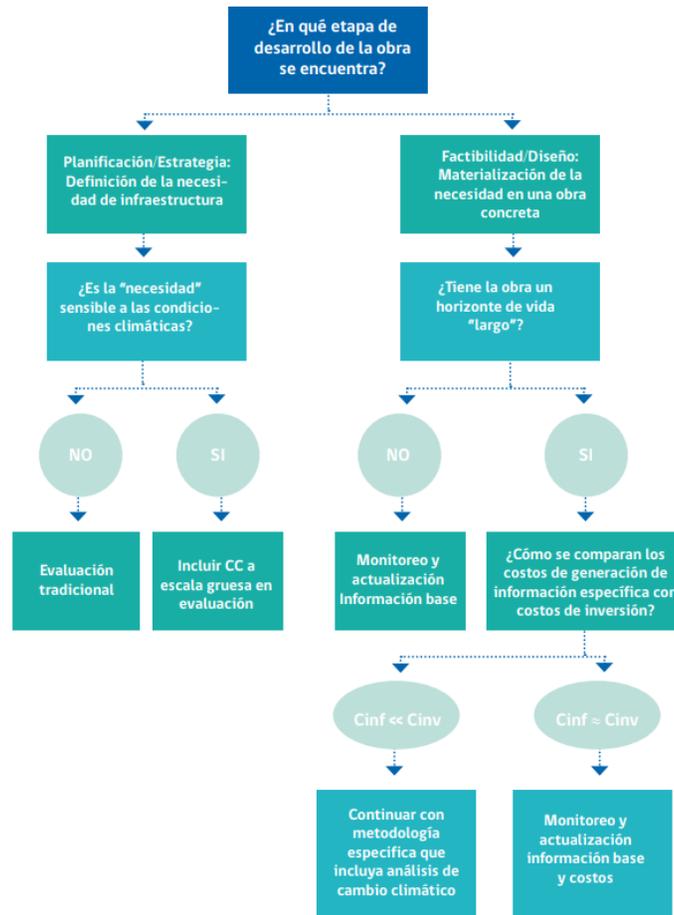


Figura 3.3: Enfoque metodológico de decisión respecto a la incorporación de análisis de cambio climático por tipología de infraestructura. Fuente: Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura. Fuente: MOP y MMA, 2017

### 3.3 Relación de la SH y SbN

Tal como se menciona en el acápite 1.3.2 del presente informe, el agua es un recurso que integra todos los ecosistemas, siendo además esencial para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta al formar parte del desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. El concepto de Seguridad Hídrica hace referencia al acceso aceptable a una cantidad de agua de calidad y, tal como se señala en la literatura anteriormente citada, esta enfrenta como gran amenaza a los efectos del cambio climático, que a nivel local se presentan como el aumento de la frecuencia de eventos de sequías e inundaciones. Los usos antrópicos son otro aspecto que amenaza la SH, ya que sus actividades disminuyen la cantidad de agua disponible y estas generan contaminantes que empeoran la calidad de esta.

Estos desafíos muestran la necesidad de contar con soluciones nuevas e innovadoras, y es en este contexto que en el informe principal se presentan a las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como una alternativa viable para hacer frente a las problemáticas que ponen en riesgo la SH nacional. Las SbN son soluciones inspiradas y respaldadas por la naturaleza y utilizan o imitan los procesos naturales y que ayudan a contribuir a la gestión mejorada del agua.

Las SbN puede ser usadas para complementar, sustituir o salvaguardar la infraestructura gris tradicional a la par de proveer una mayor resiliencia climática y una serie de cobeneficios (por ejemplo, apoyo a la biodiversidad, a medios de subsistencia locales, al turismo y a las oportunidades de contar con lugares de esparcimiento) (Browder, 2019). Para determinar la viabilidad de una SbN se debe evaluar el provecho de

estas soluciones implementadas de forma individual o en conjunto con infraestructura gris, de modo de aprovechar los beneficios de cada tipo de infraestructura, con el fin de canalizar las sinergias para mejorar el rendimiento general del sistema (UNESCO, 2018). En la Tabla 3.1 se muestran ejemplos de cómo un mismo reto puede enfrentarse mediante las tradicionales soluciones grises, SbN o soluciones que integren tanto infraestructura gris como verde (soluciones mixtas).

**Tabla 3.1: Ejemplos de cómo las soluciones de infraestructura gris, SbN y soluciones integradas pueden mezclar elementos naturales y de infraestructura gris. Fuente: BID, 2020**

Reto	Soluciones Grises (soluciones de Ingeniería)	Soluciones basadas en la Naturaleza	Ejemplos de soluciones integradas
Inundación tierra adentro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diques y represas para protección contra aluviones (creación, mejora y mantenimiento).</li> <li>- Mejoras en los sistemas de bombeo, red de tuberías y almacenamiento de aguas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manejo de vegetación ladera arriba.</li> <li>- Restauración forestal.</li> <li>- Restauración / creación / manejo de la vegetación ribereña y de humedales, vertederos hidráulicos vivos y diques de contención.</li> <li>- Manejo de llanuras aluviales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restauración forestal alrededor de diques y represas para protección contra aluviones</li> </ul>
Escasez hídrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Embalses / represas.</li> <li>- Zona de captación de concreto / hormigón</li> <li>- Acueductos.</li> <li>- Plantas desalinizadoras (en zonas costeras).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restauración de cuencas, incluyendo reforestación o forestación.</li> <li>- Áreas verdes permeables para reabastecimiento de aguas subterráneas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restauración de cuencas alrededor de presas a fin de regular el suministro de agua y reducir la erosión y la sedimentación.</li> </ul>

Como primer punto, las SbN son medidas concretas. Más allá de su definición formal y la cantidad de criterios que se sugieren para catalogarse de esa manera en Chile, las SbN pueden apuntar a diferentes objetivos y también responder a distintas amenazas climáticas.

Dentro de ese contexto, existen amenazas específicas como inundaciones, sequías, fenómenos de remoción en masa, aumento en la frecuencia de eventos de escasez hídrica, baja oferta hídrica etc., que afectan a que un sistema alcance la SH. Y, por lo tanto, existen también SbN específicas para combatir este tipo de amenazas.

Por tanto, la utilización de SbN en SH aumenta la ganancia de resiliencia del sistema, y probablemente se maximice en la medida que se aplique un conjunto de SbN para maximizar el impacto, pero también que se ocupe un enfoque integrado en donde, si es que se utiliza, por ejemplo, una infraestructura gris o verde, el tamaño de esta sea mínimo y su impacto acotado.

En sí la SH es un objetivo que persiguen algunas SbN, pero existen también muchas medidas que no disponen del cumplimiento de requisitos básicos para ser catalogadas como tal. Esto puede transformarse un problema a la hora de alcanzar la adaptación, principalmente porque no existe medida con impacto cero.

Al exigir que la SH se alcance vía las SbN, se están colocando inmediatamente las brechas existentes para la aplicación de estas medidas. ¿Cómo garantizar la no afectación de biodiversidad cuando no hay línea base? ¿Cualquier impacto es un impacto negativo? ¿No se debiese velar por impacto reducido? Estas interrogantes son absolutamente heredables a la hora de utilizar una SbN que permita alcanzar la SH.

Si en el norte se instalan humedales de remoción de arsénico, debiese procurar que dicho humedal se construya con la biodiversidad local, de manera de no generar o introducir especies que pudiesen provocar alguna afección o daño. La interrogante es ¿Qué pasa si esas especies no permiten alcanzar la remoción del contaminante? ¿Se debe introducir una especie adicional? Claramente, en algún momento se debe de transar. Porque no hacer nada tiene un costo quizás mucho más alto. Del mismo modo, no da lo mismo de donde sacar

el agua para satisfacer o para mantener al humedal. ¿Es correcto que se bombee el agua? ¿Esto no sería eventualmente un impacto en la sustentabilidad del acuífero? Estas interrogantes deben de responderse con estudios específicos y locales que, por ejemplo, permitan encontrar un intervalo de caudal que se puede obtener desde el suelo que no tenga un mayor impacto.

En ese sentido podría ser conveniente separar el problema por abastecimiento y objetivo de calidad, de tal manera que la SbN se construya a partir de otras SbN, por ejemplo, recargas de acuíferos que me permitan bombear después hacia el humedal, y combinaciones de filtros o tratamientos que me ayuden con el abatimiento del contaminante que se trata de erradicar.

En ese sentido, alcanzar la SH a través de las SbN es por cierto un desafío en cierta medida recursivo, que está directamente conectado por las amenazas a las que hacen frente común, y claramente a las brechas de información que permitan cuantificar la calidad de la solución.

El temor más grande para la adaptación en ese sentido es encontrar configuraciones de SbN que puedan ser factibles de aplicar y que tengan alto impacto, por sí mismas o combinadas, ya que, de otra forma, y dada la alta urgencia en materia hídrica en el país, puede ser que se llegue tarde a proveer la ayuda necesaria.

## 4 HERRAMIENTAS Y EJEMPLOS ASOCIADOS A SH

En este capítulo se abordan los instrumentos y herramientas que existen a nivel nacional e internacional que permiten cuantificar la SH.

### 4.1 Herramientas que sirven para identificar la SH a nivel nacional

#### 4.1.1 Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClim)

El Atlas de Riesgos Climáticos para Chile, un proyecto del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile, desarrollado por el Centro de Investigación del Clima y la Resiliencia, (CR)2, y el Centro de Cambio Global (CCG-Universidad Católica de Chile) con la colaboración de otras instituciones nacionales e internacionales.

Este atlas presenta una colección de mapas que contienen un conjunto de cadenas de impacto organizadas en 12 sectores:

- Agricultura.
- Salud y Bienestar Humano
- Bosques Nativos
- Acuicultura
- Infraestructura Costera
- Recursos Hídricos
- Turismo
- Pesca Artesanal
- Biodiversidad
- Plantaciones Forestales
- Minería
- Energía Eléctrica

Para cada cadena se despliegan mapas de la amenaza climática (A), exposición (E) y sensibilidad (S) del sistema afectado (como la producción de maíz). Los mapas tienen cobertura nacional y resolución comunal (o puntual en ciertas cadenas). Las tres variables (A, E, S) se combinan para determinar el riesgo debido al cambio climático sobre el sistema en cuestión.

Este Atlas brinda información importante en términos de Seguridad Hídrica, ya que en el apartado de Recursos Hídricos genera 4 mapas de cadenas de impacto estos son:

- a) Inundaciones por Desbordes de Ríos: muestran los efectos de inundaciones generadas por precipitaciones extremas de período de retorno de 100 años, las cuales aumentan los caudales en esteros y ríos, incrementando la altura de escurrimiento.
- b) Inundaciones en zonas urbanas: muestran los efectos de inundaciones generadas por precipitaciones extremas de distinto período de retorno en zonas urbanas de diferentes comunas del país, considerando aspectos sociales y existencia de servicios básicos junto a las condiciones climáticas presentes y futuras.
- c) Riesgo en el Aprovechamiento de Agua Superficial en Riego: muestra el riesgo asociado a cambios en la vulnerabilidad extrema para las distintas zonas de riego expuestas. El riesgo aumenta al existir una disminución en los caudales, impidiendo que el uso del derecho pueda ser ejercido íntegramente, bajo efectos del cambio climático.
- d) Sequías Hidrológicas (Figura 4.1): muestran los efectos adversos de sequías hidrológicas en distintas comunas del país, considerando puntos específicos a lo largo del principal cauce dentro de la comuna. La sequía hidrológica contempla un aumento de la frecuencia de los caudales bajos y la disminución en la magnitud de los caudales extremos bajos.

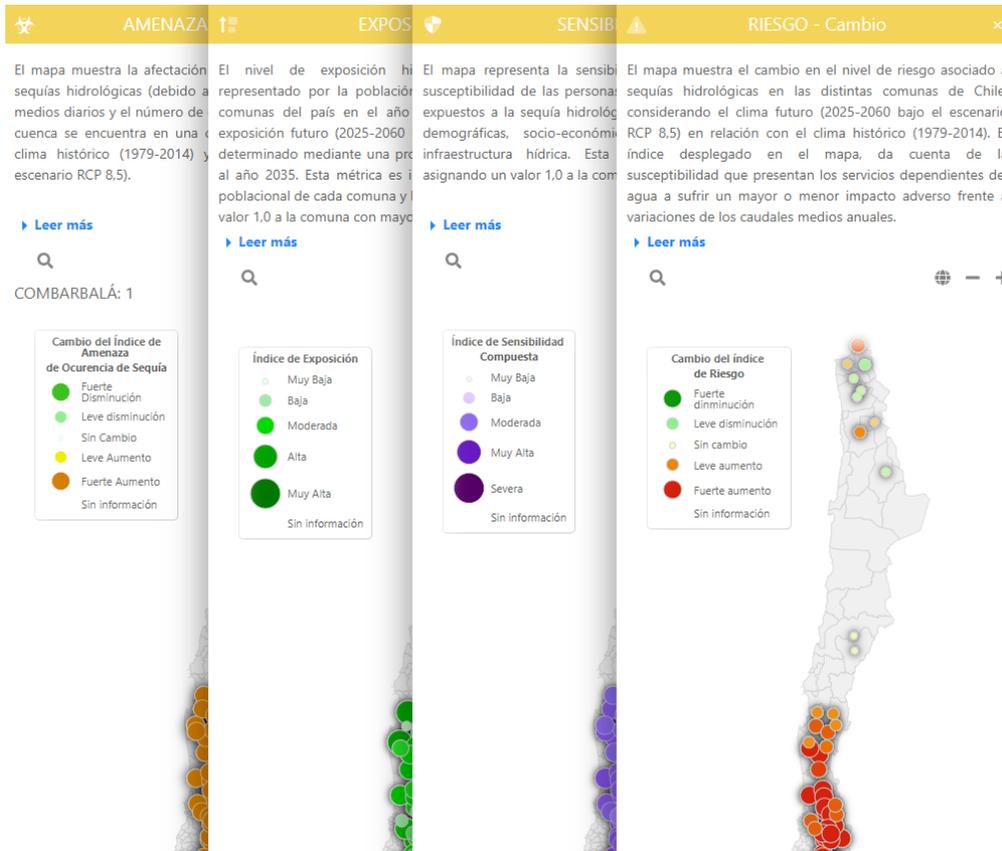


Figura 4.1: Mapas de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo de Sequías Hidrológicas. Fuente: Plataforma virtual Atlas de Riesgo Climático.

### 4.1.2 Índice de Estrés Hídrico

De acuerdo con la revisión de antecedentes realizada, y tal como se mencionó anteriormente, se recomienda como usar el Índice de Estrés Hídrico (WSI por sus siglas en inglés), como indicador de Seguridad Hídrica a nivel de cantidad, pues el opuesto de este corresponde al nivel de SH actual de un territorio. De acuerdo con esto, se propone la siguiente relación entre el WSI y el nivel de Seguridad Hídrica (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Clasificación de riesgo hídrico de acuerdo con el WSI y nivel de Seguridad Hídrica asociado. Fuente: adaptado de Alvarez-Garretón et al., 2022.

Rango	Riesgo de escasez hídrica	Nivel de Seguridad Hídrica
WSI < 40%	Riesgo Bajo	Alto
40% < WSI < 70%	Riesgo Medio	Medio
WSI > 70%	Riesgo Extremo	Bajo

### 4.1.3 Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe

Este Atlas elaborado por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO y el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) el año 2010, presenta el mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de 26 países de América Latina y el Caribe, que se obtiene mediante el Régimen de Aridez, indicador que está basado en el número de meses que una ubicación experimenta un déficit en la precipitación (P) en relación con la evapotranspiración (ET), considerando que un mes está 'seco' cuando  $P/ET < 0.5$ . El número de meses secos es usado para la clasificación en Régimen de Aridez (Verbist et al., 2010).

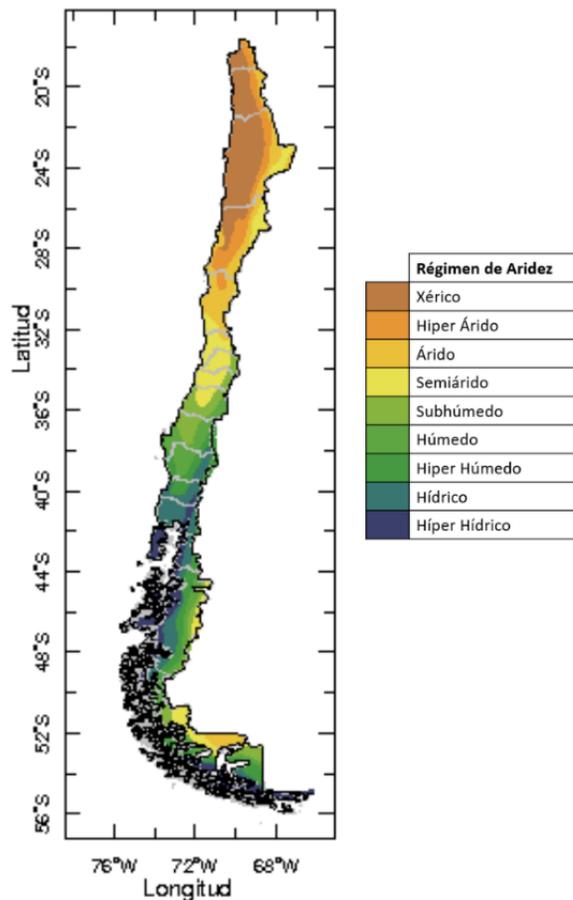


Figura 4.2: Zonas hidroclimáticas en América Latina y el Caribe, usando la clasificación basada en el Régimen de Aridez. Fuente: Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe, 2010.

La distribución de áreas mostrada en la Figura 4.2, se resume en la Tabla 4.2, donde además se agrega la condición que fue considerada por el estudio para realizar la clasificación. Cabe señalar que “I<sub>a</sub>” corresponde al índice de aridez, el cual es el ratio entre la precipitación anual y la evapotranspiración de referencia anual, mientras que “P<sub>a</sub>” corresponde a la precipitación anual.

**Tabla 4.2: Porcentaje de superficie de cada clase en Chile.**  
**Fuente: Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe, 2010.**

Régimen de Aridez	Porcentaje	Condiciones
Xérico	18%	12 meses secos e $I_a < 0,05$
Hiper Árido	8%	11-12 meses secos
Árido	13%	9-10 meses secos
Semiárido	13%	7-8 meses secos
Subhúmedo	8%	5-6 meses secos
Húmedo	9%	3-4 meses secos
Hiper Húmedo	8%	1-3 meses secos
Hídrico	9%	0 meses secos y $P_a < 2500$ mm
Hiper Hídrico	15%	0 meses secos y $P_a > 2500$ mm

Esto implica que el porcentaje de Zonas Áridas del país es de 435.991 km<sup>2</sup> (se consideran zonas xéricas, hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas), lo que equivale un 58% de la superficie total.

#### 4.1.4 Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe

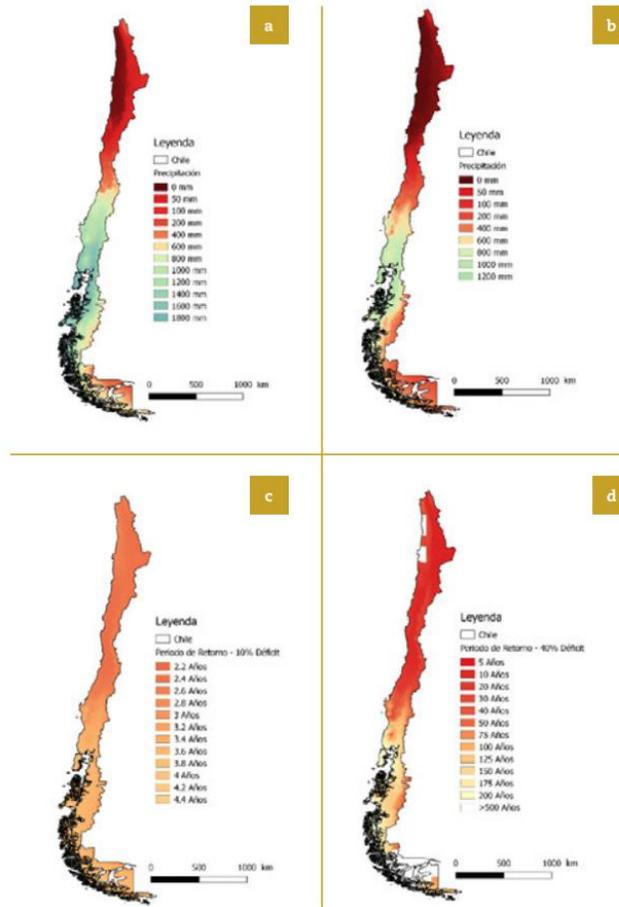
El estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en conjunto con el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) el año 2018 inicia con la premisa de que la sequía ha sido, es y probablemente seguirá siendo uno de los más importantes desastres socio-naturales que afectan a la sociedad y el ambiente a nivel global. El atlas presenta un diagnóstico de los países que conforman América Latina y el Caribe mediante un análisis de diferentes variables y factores asociados a las sequías y proyecciones de estos eventos a futuro.

Además, se caracteriza el contexto chileno respecto a este evento extremo. Se presenta a Chile como un país que no ha sido inmune a la amenaza de la sequía a lo largo de toda su historia documentada (Mackena, 1887; Aldunce y González, 2009; Núñez, 2013; Garreaud et al., 2017), pues dada su posición geográfica, gran parte de su territorio es estructuralmente vulnerable a la sequía (Núñez et al, 2016). Destacan en el registro histórico, tres eventos de sequía ocurridos en los últimos 100 años con importantes consecuencias económicas, sociales y ambientales, como son las denominadas sequía del 68', sequía del 98' y la actual megasequía que comenzó el año 2010. Estos tres eventos se suman a la larga historia de sequías en Chile, las que fueron reseñadas por Benjamín Vicuña Mackenna en su "Ensayo Histórico del Clima de Chile" de 1887.

De los eventos de escasez, se han asociado a la megasequía (2010-) impactos referidos en:

- Una fuerte reducción en la disponibilidad de agua (un 70% de déficit en los caudales medios en las regiones de Coquimbo y Valparaíso) y disminución progresiva en los niveles de aguas subterráneas.
- Una fuerte reducción en el aporte de nutrientes provenientes de los ríos hacia los sistemas costeros.
- Un notable deterioro de la vegetación no irrigada en Chile Central.
- Un incremento de un 70% en la superficie forestal quemada.
- La promulgación de un número significativo de Decretos de Escasez Hídrica por parte de la Dirección General de Aguas.

Como producto para Chile, se muestra los mapas presentados en la Figura 4.3, el cual muestra los montos anuales de precipitación esperada para una sequía considerada leve (aquella que ocurre una vez cada dos años en promedio) y para una sequía considerada extrema (aquella que ocurre en promedio una vez en 100 años). Cuando el interés se centra en el periodo de retorno, en cambio, el Atlas muestra que mientras sequías leves (equivalentes a un 10% de déficit respecto de la precipitación media anual) tienen periodos de retorno entre 2 y 3 años a lo largo de Chile continental, mientras que, aquellas correspondientes a un 40% de déficit, presentan periodos de retorno en torno a los 10 años en la Zona Norte pero superiores incluso a 100 años en la Zona Sur.



**Figura 4.3:** Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

En cuanto a la gestión, se muestran a cuatro Ministerios como los principales responsables de dar reconocimiento oficial a una condición de sequía y de generar los mecanismos de respuesta para hacer frente a dicha condición, estos son: el Ministerio del Interior y Seguridad Pública, de Agricultura, de Obras Públicas y de Energía.

#### 4.1.5 WaterProof - Un sistema basado en la web para proporcionar un cálculo rápido del retorno de la inversión y una indicación temprana de una cartera preferida de Soluciones basadas en la Naturaleza en las cuencas hidrográficas<sup>7</sup>

Esta investigación realizada por Rogéliz, et al. el año 2022 entrega como resultado una plataforma web llamada WaterProof, la cual proviene de la problemática de la degradación de las cuencas hidrográficas en todo el mundo, lo que conlleva graves impactos en la Seguridad Hídrica. Se presentan a las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como una forma de preservar o restaurar las cuencas hidrográficas degradadas, abordando así problemas críticos de SH.

Hoy en día existe una falta de inversión en SbN, lo que se debe en parte a la complejidad y el tiempo necesarios para demostrar el retorno de la inversión (ROI) de un portafolio de SbN para los resultados de la Seguridad Hídrica. Este es un paso importante para desbloquear compromisos de financiación a gran escala por parte de los actores del agua del sector público y privado.

Se presenta como una solución innovadora a la plataforma WaterProof, la que se ha desarrollado para proporcionar a los usuarios un portafolio de inversiones SbN rápido e indicativo y un ROI asociado. La herramienta está destinada a involucrar a los actores interesados en explorar SbN para los desafíos locales del agua y proporcionar a los patrocinadores del programa un nivel de prefactibilidad de estimación del ROI. Específicamente, el sistema virtualiza una serie de modelos de servicios ecosistémicos de Natural Capital desarrollados por Stanford Natural Capital Project (InVEST y RIOS) y preformatea conjuntos de datos globales relevantes para reducir radicalmente el tiempo, costo y recursos requeridos para las evaluaciones de ROI del portafolio de SbN.

Los resultados clave proporcionados a los usuarios incluyen una caracterización resumida de cuencas hidrográficas, mapas para carteras de SbN recomendadas, cálculo de costos del ciclo de vida completo, evaluación del ROI a nivel de prefactibilidad y estimación de cobeneficios. La audiencia principal de esta herramienta incluye a personas interesadas en la administración de cuencas hidrográficas y los costos de tratamiento del agua en las empresas de servicios públicos, los líderes de la administración del agua en empresas del sector privado que son grandes usuarios del agua y los profesionales o administradores de la conservación que se centran en la seguridad del agua y la salud de las cuencas hidrográficas.

---

<sup>7</sup> WaterProof—A Web-Based System to Provide Rapid ROI Calculation and Early Indication of a Preferred Portfolio of Nature-Based Solutions in Watersheds

## 5 HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE SEGURIDAD HÍDRICA EN TÉRMINOS DE CANTIDAD Y CALIDAD

Aunque las herramientas mencionadas anteriormente proporcionan una gran cantidad de información útil, en ocasiones esta información puede resultar difícil de comprender para los tomadores de decisiones. Por esta razón, se han desarrollado productos adicionales que permiten evaluar el nivel de seguridad hídrica en términos de cantidad (proyecciones) y calidad (situación actual).

### 5.1.1 Mapas de variación de precipitaciones, evapotranspiración y escorrentía.

Con el propósito de caracterizar variables que pueden intervenir en la definición de SH, se realizó una búsqueda de resultados disponibles y factibles de procesar que pudiesen complementar resultados como los presentados en el explorador de amenazas de ARCLim. En este sentido, la SH en ésta última plataforma está caracterizada como un indicador, un número único, que no permite concluir si el riesgo se produce por efectos de una baja en términos de oferta o flujo o bien por problemas de contaminación.

Para solventar lo anterior, se recurrió a la Actualización del Balance Hídrico de Chile (DGA, 2017, 2018). Este trabajo posee resultados de variaciones de precipitación, escorrentía y evapotranspiración (representa una demanda natural de la cuenca) para 4 modelos MCG bajo el escenario RCP 8.5. Por tanto, cuantificar estos impactos a nivel de cuenca, pueden complementar o caracterizar la SH en términos de cuantificación del recurso.

Entonces, a partir de los resultados publicados en dicho estudio, se construyeron mapas que nacen de la necesidad de obtener información cuantitativa de fácil lectura de la precipitaciones, evapotranspiración y escorrentía a nivel de cuenca, utilizando como base de datos, la información generada base de datos la información generada por los Balances Hídricos Nacionales, trabajando con los promedios históricos (1985-2015) y los proyectados (2030-2060) de precipitaciones, evapotranspiración y escorrentía de los 4 modelos trabajados: CSIRO-MK3-6-0, CCSM4, MIROC-ESM y OPSL-CM5A-LR.

La metodología consistió en calcular el promedio de las proyecciones dadas por los 4 modelos mencionados anteriormente, esto para la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía. Finalmente se calculó el porcentaje de variación de cada variable a nivel de cuenca DARH considerando como base, el valor histórico de cada una, valores que fueron georreferenciados y representados en las cartografías mostradas de la Figura 5.1 a Figura 5.6. Por tanto, todos los mapas son de “elaboración propia”, basados en el proceso de actualización del balance hídrico de las macrozonas norte, centro sur y austral publicados durante los años 2017 a 2020 por la DGA.

#### 5.1.1.1 Precipitaciones

Las cartografías presentadas en la Figura 5.1 y Figura 5.2, representan la variación de las precipitaciones proyectadas (2030-2060) respecto a las históricas (1985-2015), estando la primera en milímetros y la segunda en términos porcentuales. Estas muestran las disminuciones con colores rojizos, mientras que los incrementos en colores azulados.

En la Figura 5.1 se puede apreciar que aquellas cuencas donde se proyectan mayores disminuciones de precipitación se concentran en la macrozona centro y sur del país. En tanto que, las cuencas ubicadas en la macrozona norte presentan disminuciones, pero de una magnitud mucho menor que las anteriormente nombradas. Finalmente, las cuencas ubicadas al norte de la macrozona austral se proyectan disminuciones en las precipitaciones, mientras que aumentos en aquellas que se ubican en al sur.

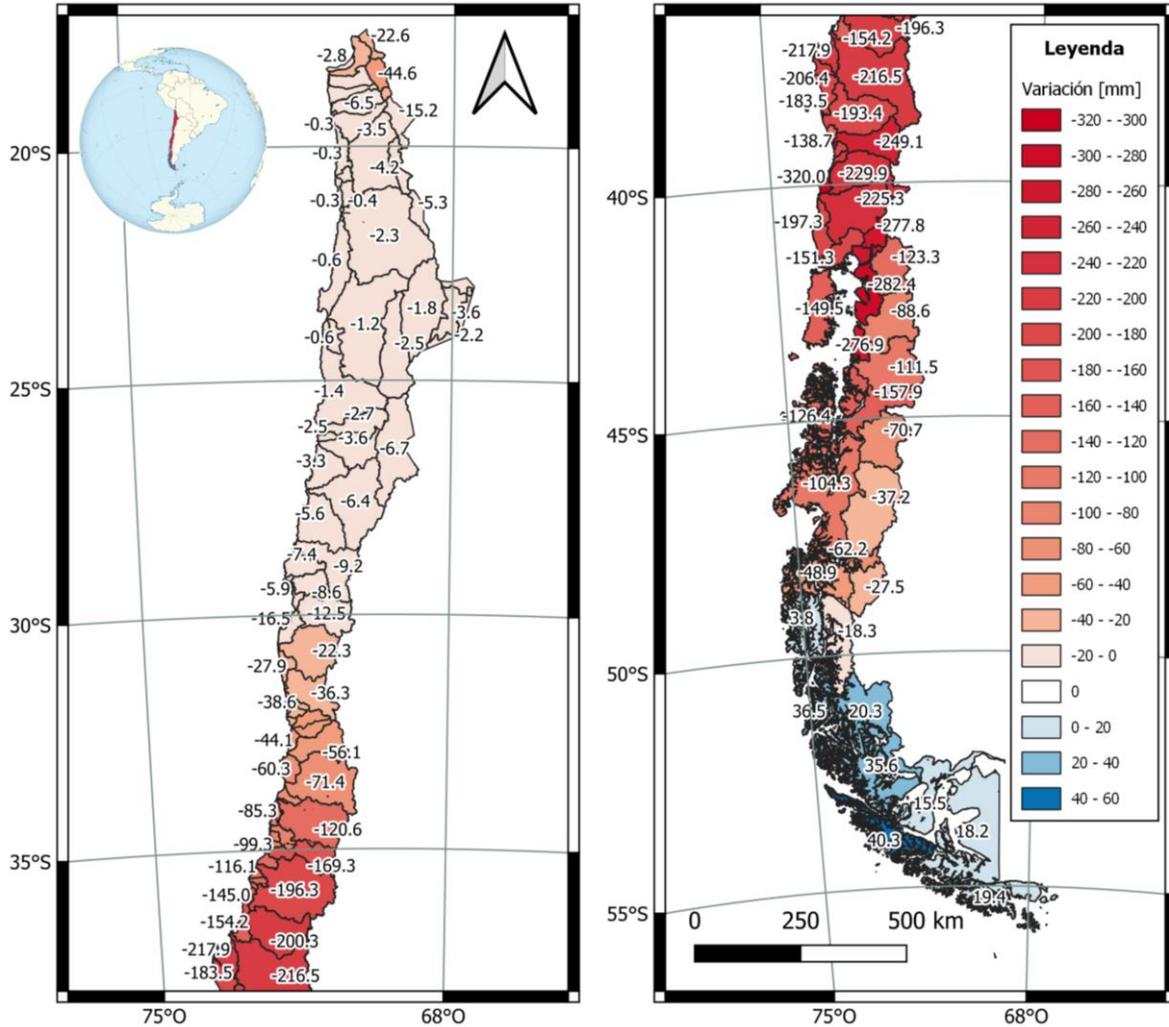


Figura 5.1: Variación precipitación media en milímetros (precipitación proyectada (2030-2060) respecto al valor histórico (1985-2015)

En la Figura 5.2, se muestra la variación de las precipitaciones en términos porcentuales. Se observa un color rojizo un tanto uniforme en la zona norte, centro y sur, lo que implica que, se proyecta una disminución proporcional de precipitaciones en gran parte del país. En cuanto a la zona austral-norte, presenta colores rojizos más claros, lo que significa que también se esperan disminuciones, sin embargo, estas son menores a las mencionadas anteriormente. Finalmente, la zona austral-sur muestra que, se espera un aumento en las precipitaciones, la cual va entre un 2% y 3.2%. Esto último se debe a que históricamente estas son zonas que registran valores bastante altos de precipitaciones, por lo que un incremento de 20 o 40 mm no es considerable.

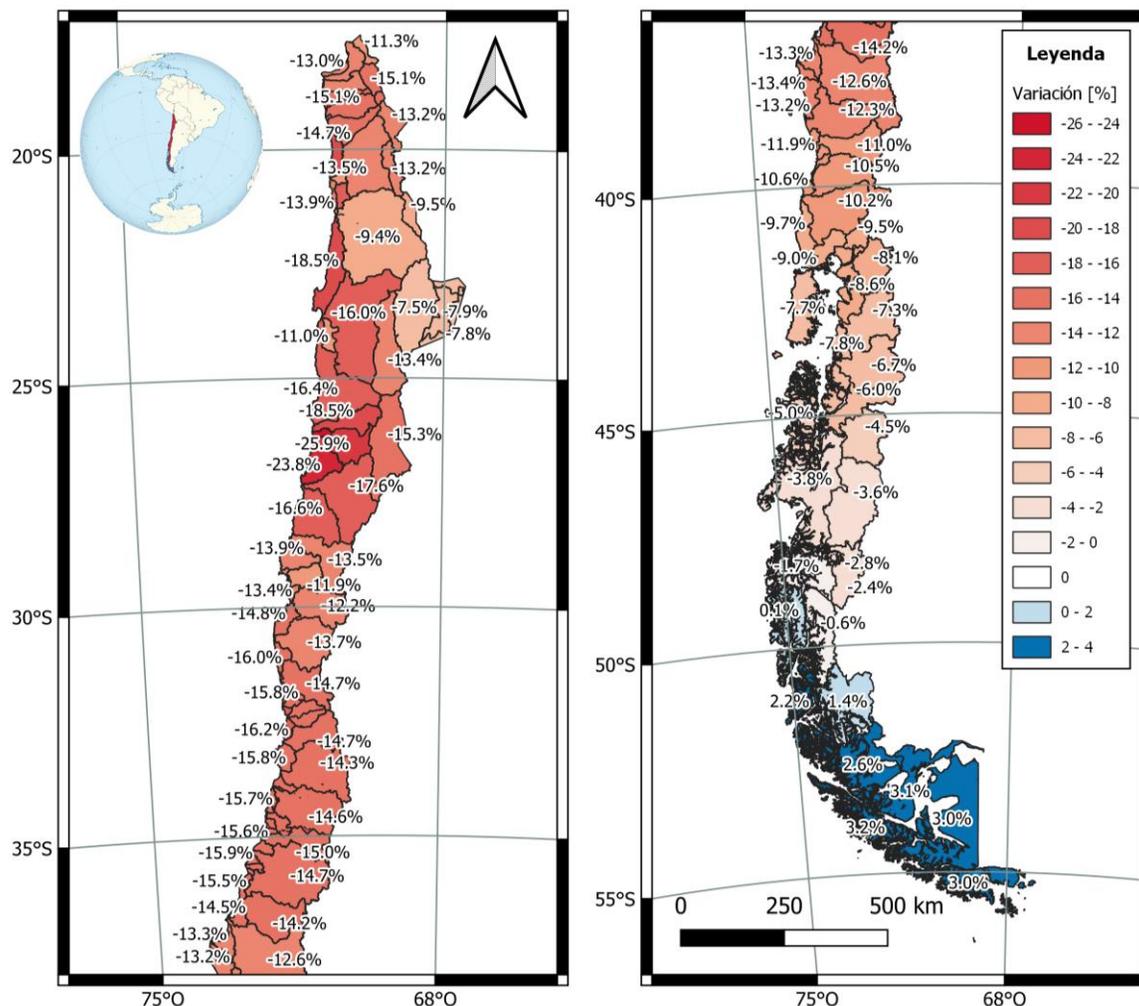
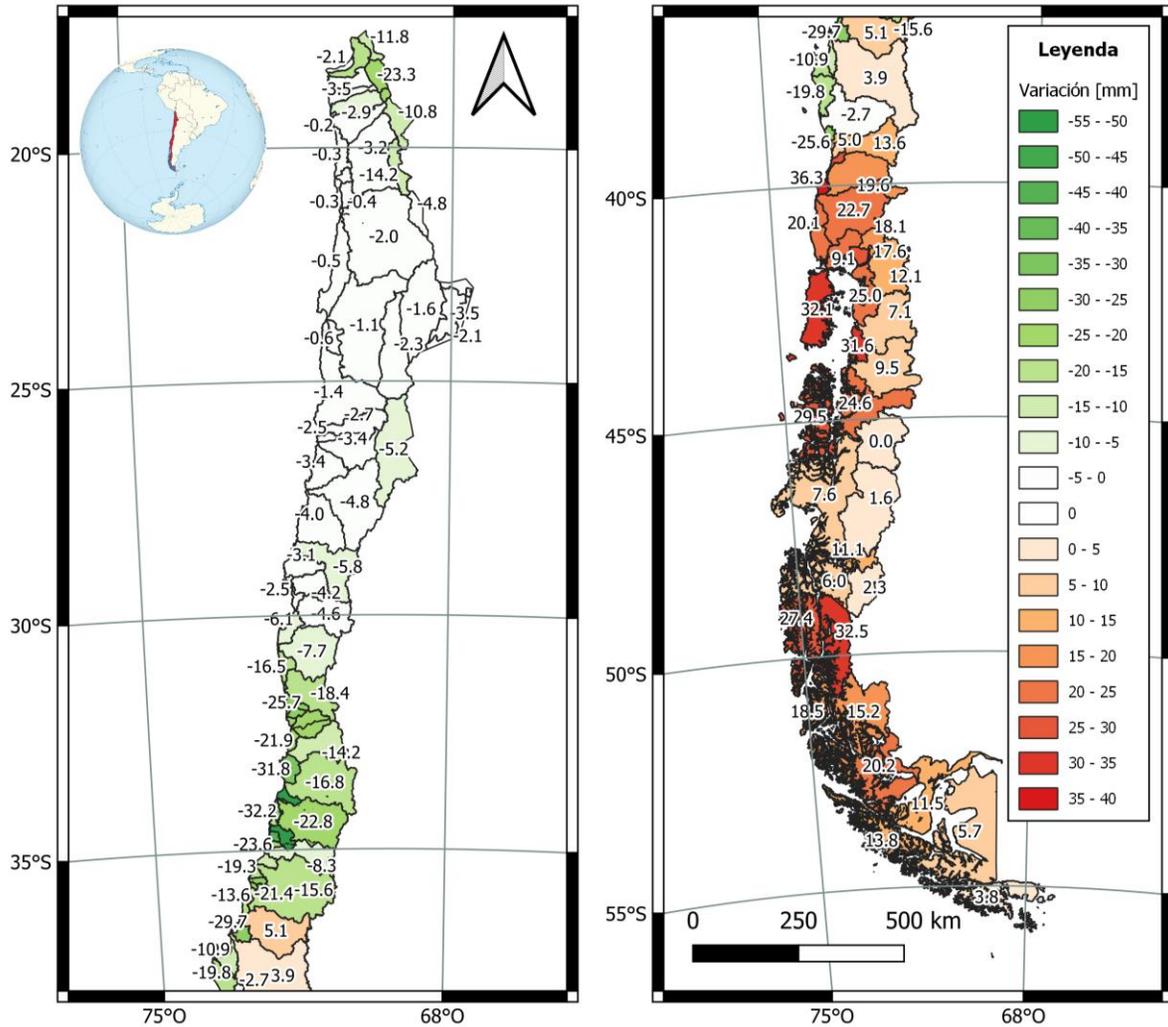


Figura 5.2: Variación porcentual de la precipitación media (precipitación proyectada (2030-2060) respecto al valor histórico (1985-2015))

### 5.1.1.2 Evapotranspiración

En la Figura 5.3 y Figura 5.4, se muestra la variación de la evapotranspiración proyectada (2030-2060) respecto a las histórica (1985-2015), estando la primera en milímetros y la segunda en términos porcentuales. Estas muestran las disminuciones en colores verdosos, mientras que los incrementos en colores rojizos.

La Figura 5.3 muestra una disminución leve de la evapotranspiración en la macrozona norte, valor que disminuye aún más en la macrozona centro del país. En tanto la macrozona sur y austral, se espera que estas tiendan a aumentar gradualmente, aunque existen cuencas que se proyecta que presenten leves variaciones.



**Figura 5.3: Variación evapotranspiración media en milímetros (evapotranspiración proyectada (2030-2060) respecto al valor histórico (1985-2015))**

La Figura 5.4 presenta la variación de la evapotranspiración en términos porcentuales. Esta muestra una disminución semejante de esta variable en las macrozonas norte y centro del país, mientras que, una disminución leve en la macrozona sur. Finalmente, en la macrozona austral muestra cuencas que se espera que no varíen y otras que aumenten levemente.

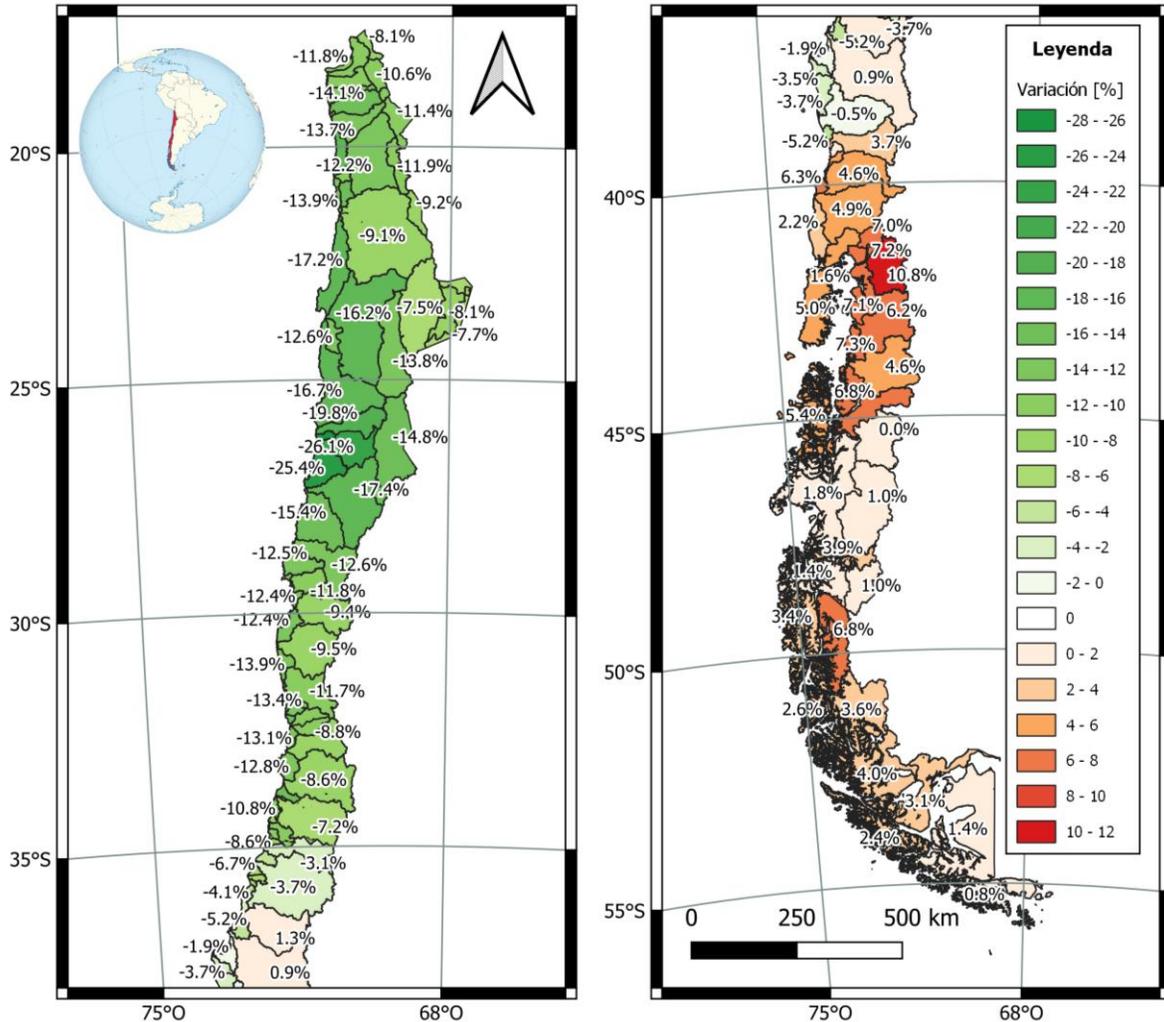


Figura 5.4: Variación porcentual de la evapotranspiración media (evapotranspiración proyectada (2030-2060) respecto al valor histórico (1985-2015)

### 5.1.1.3 Escorrentía

Las cartografías presentadas en la Figura 5.5 y Figura 5.6, representan la variación de la escorrentía proyectada (2030-2060) respecto a las históricas (1985-2015) de cada cuenca, estando la primera en milímetros y la segunda en términos porcentuales. Estas muestran las disminuciones con colores rojizos, mientras que los incrementos en colores azulados.

En la Figura 5.5, se muestra que se proyecta una disminución en prácticamente todo el territorio nacional, la cual aumenta paulatinamente conforme se avanza hacia el sur, tendencia que cambia en las cuencas ubicadas en el extremo sur de la macrozona austral, donde se presentan leves aumentos en esta variable (esto considerando los valores históricos de estas zonas).

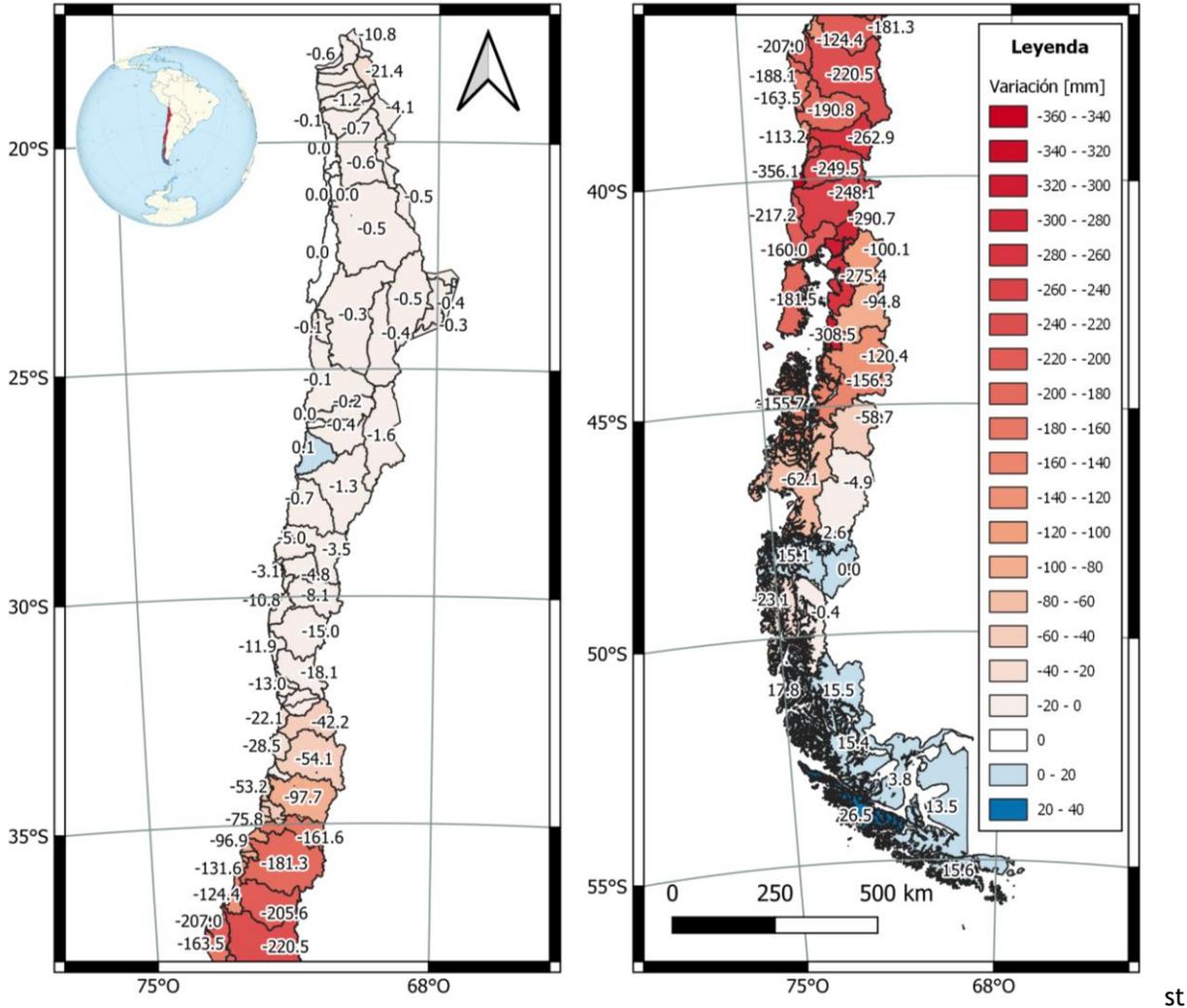


Figura 5.5: Variación escorrentía media en milímetros (escorrentía proyectada (2030-2060) respecto al valor histórico (1985-2015)

En la Figura 5.6, se muestra que se proyecta una disminución proporcional de la escorrentía en prácticamente todo el país, tendencia que un tanto en el extremo sur de la macrozona austral, donde se muestran cuencas donde se espera que existan leves aumentos.

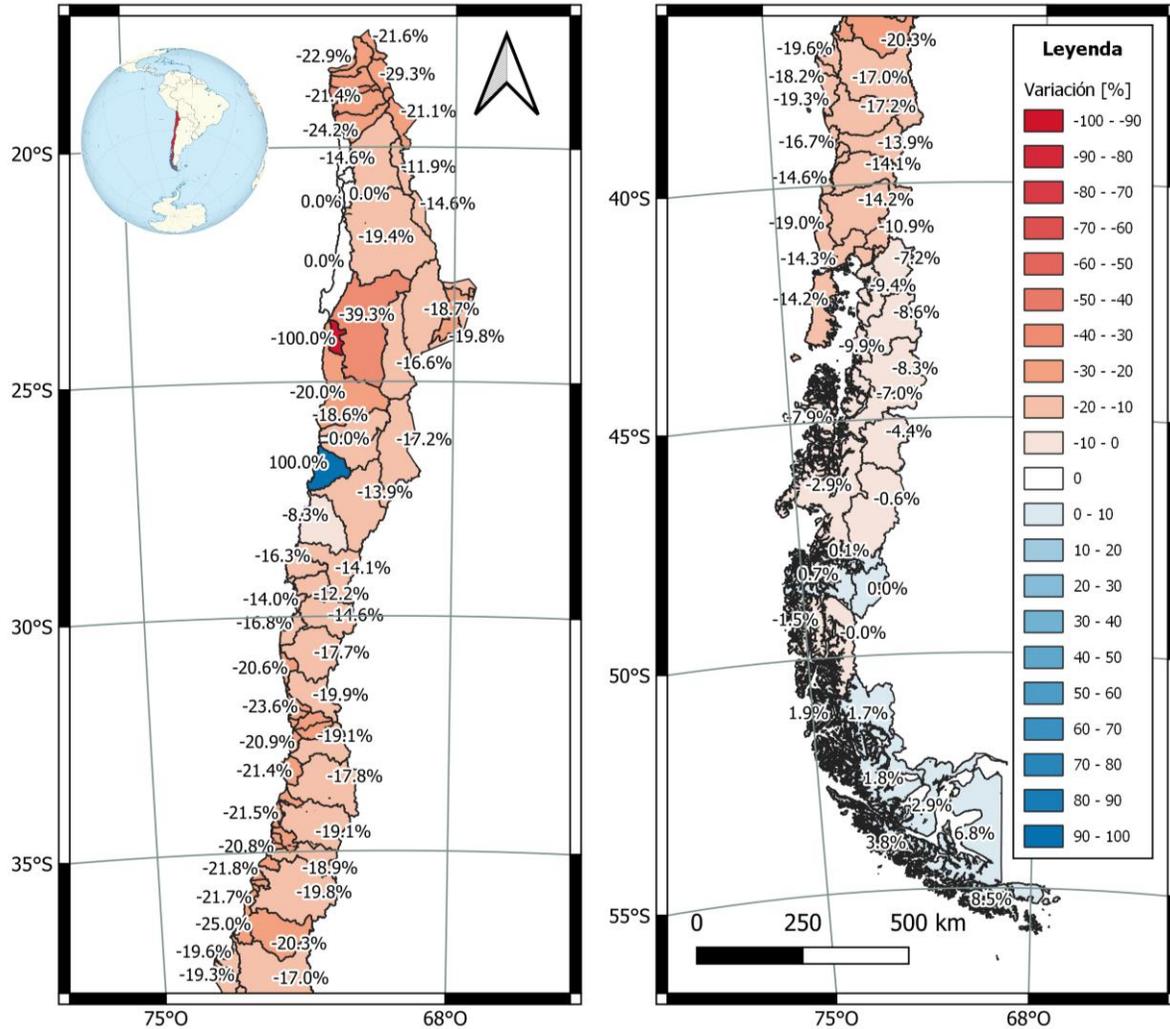


Figura 5.6: Variación porcentual de la escorrentía media (escorrentía proyectada (2030-2060) respecto al valor histórico (1985-2015)

#### 5.1.1.4 Análisis de resultados

##### 5.1.1.4.1 Precipitación

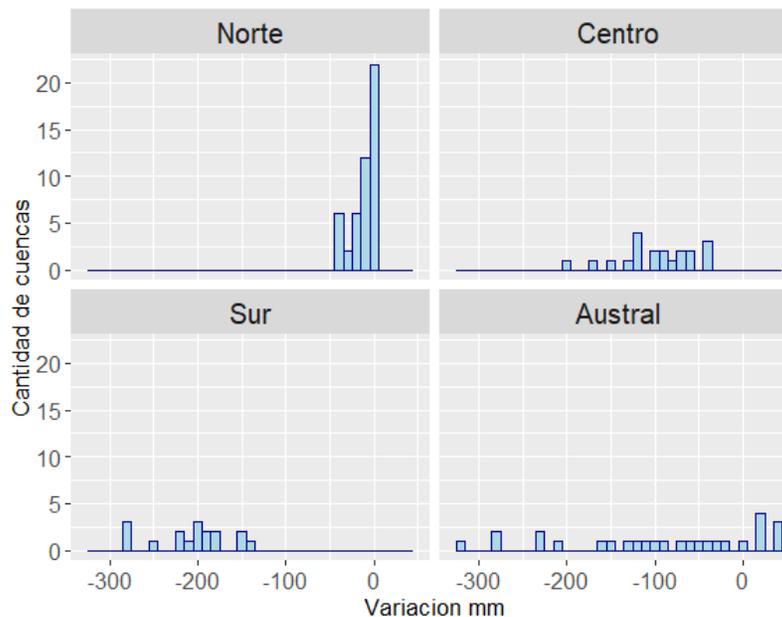
Al observar la columna que muestra la variación media en milímetros en la Tabla 5.1, se puede apreciar que la macrozona que presenta una mayor disminución es la sur, mientras que la que presenta menor variación es la norte. Sin embargo, esta tendencia no es la misma que muestra la variación en términos porcentuales, de hecho, estas tienden a ser semejantes para las tres primeras macrozonas y un tanto menor para la austral, resultados que se deben a que los promedios históricos de precipitaciones de estas macrozonas varían bastante en su orden de magnitud.

**Tabla 5.1: media variación de precipitaciones en milímetros y porcentual agrupada por macrozonas.**  
 Fuente: Elaboración Propia.

Macrozona	Variación media precipitación [mm]	Variación media precipitación [%]
Norte	-11.6	-14.4%
Centro	-97.6	-15.4%
Sur	-206.4	-11.6%
Austral	-91.6	-3.7%

En la Figura 5.7 se observa que la macrozona norte concentra la disminución de precipitaciones en el rango de 0 y 50 mm, mientras que la macrozona centro presenta un comportamiento más homogéneo con un rango de aproximadamente 160 mm cuyo centro se encuentra cercano a su media, comportamiento similar al de la macrozona sur. La macrozona austral presenta un rango de aproximadamente 360 mm con una distribución homogénea de los datos.

Lo anterior implica que las proyecciones para la macrozona norte tienen un poco variabilidad a lo largo del territorio, es decir, la disminución de precipitaciones será semejante. En tanto en la macrozona centro y sur, se proyecta una mayor variabilidad en la disminución de precipitaciones, con un orden de magnitud mucho mayor para esta última. Finalmente, para la macrozona austral presenta una mayor variabilidad con cuencas que incluso proyectan un aumento en sus precipitaciones de hasta 40 mm.



**Figura 5.7: Variación precipitación media en mm proyectada (2030-2060) respecto a histórica (1985-2015), agrupada en macrozonas.** Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.8, se observa que, porcentualmente, la macrozona donde se encuentran las mayores variaciones de precipitación es la norte, sin embargo, los valores tienden a concentrarse en torno -15%. Las macrozonas centro y sur, presentan un rango menor, pero en términos generales una variación semejante a la norte. En tanto, la macrozona sur presenta un rango más amplio con un comportamiento homogéneo. Esto quiere decir que se proyecta una disminución de precipitaciones con un impacto proporcional para la macrozona norte, centro y sur, mientras que, para la austral, aumentos y disminuciones, pero en menor grado.

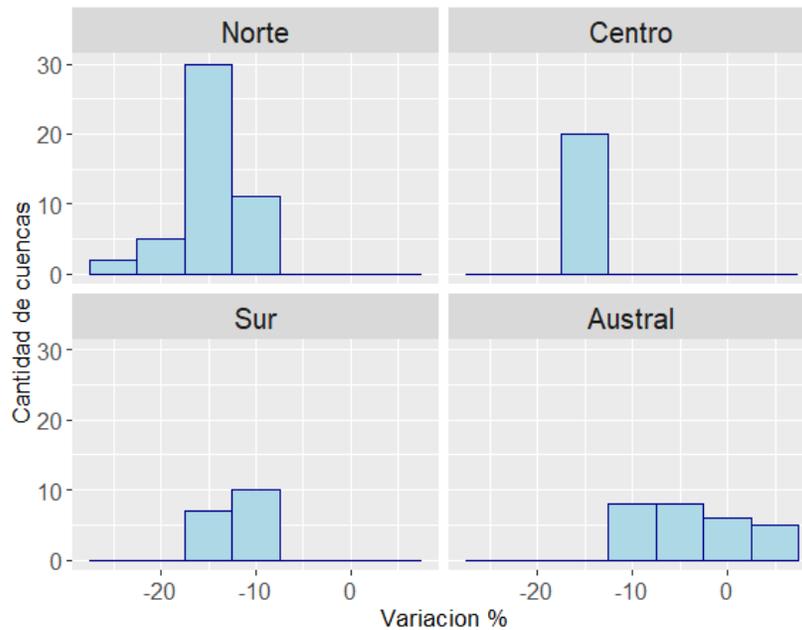


Figura 5.8: Variación precipitación media porcentual proyectada (2030-2060) respecto a histórica (1985-2015), agrupada en macrozonas. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.1.4.2 Evapotranspiración

En cuanto a la evapotranspiración, la Tabla 5.2 muestra la mayor disminución en milímetros se presentaría en la macrozona centro, seguida por la macrozona norte. En tanto la macrozona sur, prácticamente no variaría, mientras que la macrozona austral presentaría un aumento. Sin embargo, en términos porcentuales, la mayor disminución se presenta en la macrozona norte, valor que va aumentando conforme se avanza hacia el sur. Los valores de las dos primeras macrozonas son consistentes con las variaciones en las precipitaciones, mientras que el valor de las dos macrozonas más al sur, pueden tener relación con el aumento de la temperatura en esas zonas.

Tabla 5.2: Media variación de evapotranspiración en milímetros y porcentual agrupada por macrozonas. Fuente: Elaboración Propia.

Macrozona	Media variación evapotranspiración [mm]	Media variación evapotranspiración [%]
Norte	-7.1	-13.2%
Centro	-24.8	-8.9%
Sur	0.4	0.7%
Austral	16.8	4.1%

Tanto en la Figura 5.9 como en la Figura 5.10, se observan rangos semejantes tanto en milímetros como en términos porcentuales, cada uno en torno a su respectiva media, sin embargo, en la macrozona norte, los datos se encuentran mucho más concentrados en un intervalo cercano a 0. Estos valores pueden tener relación con las proyecciones realizadas para las precipitaciones, ya que, al haber menor disponibilidad de recursos hídricos, existe menor evapotranspiración y viceversa.

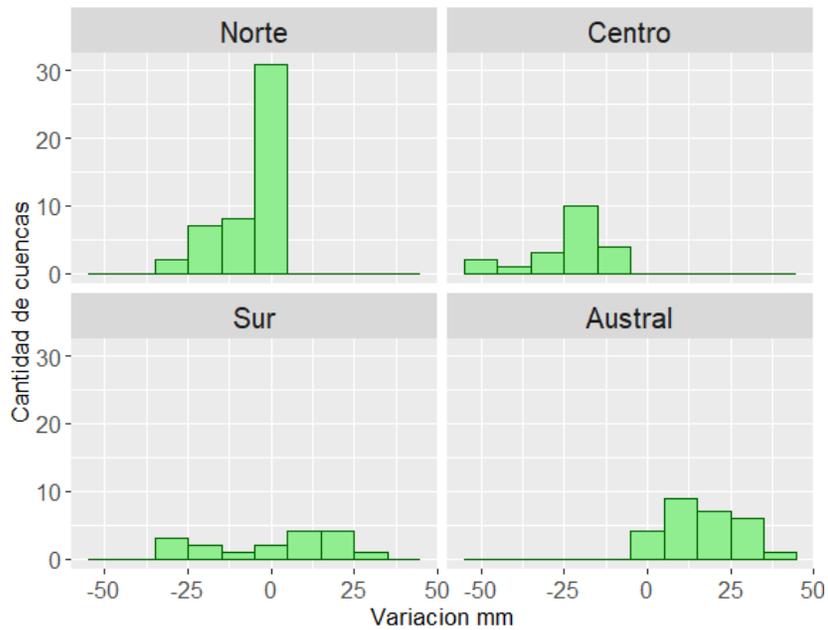


Figura 5.9: Variación evapotranspiración media en mm proyectada (2030-2060) respecto a histórica (1985-2015), agrupada en macrozonas. Fuente: Elaboración propia.

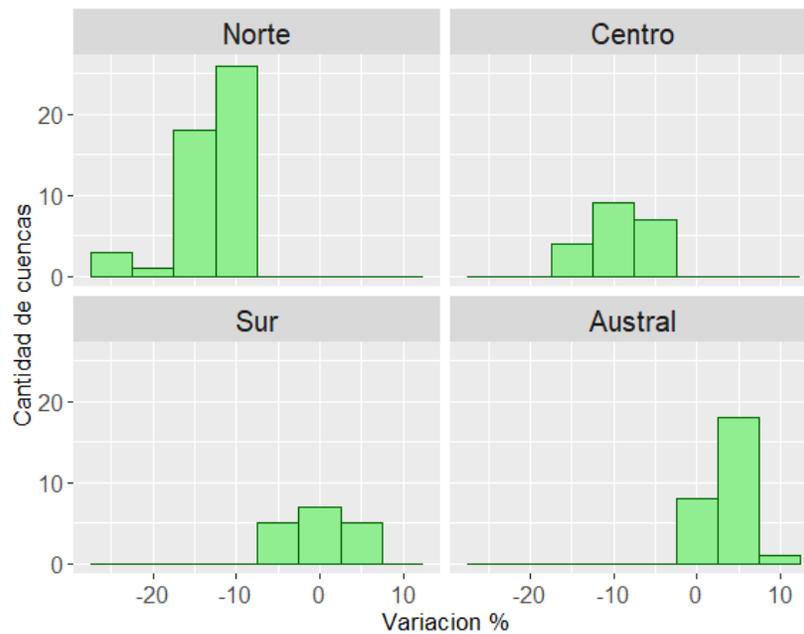


Figura 5.10: Variación evapotranspiración media (porcentual) proyectada (2030-2060) respecto a histórica (1985-2015), agrupada en macrozonas. Fuente: Elaboración propia.

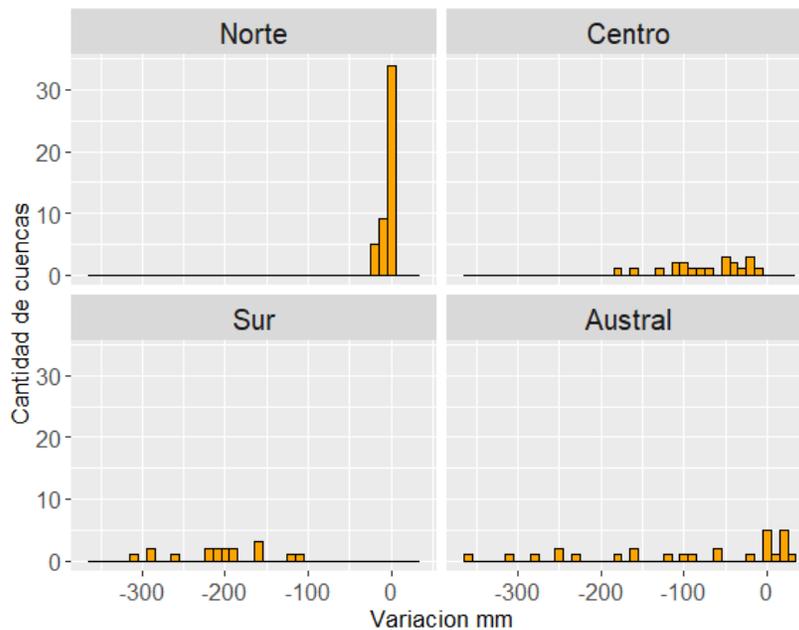
### 5.1.1.4.3 Escorrentía

Al observar la Tabla 5.3, se observa que la mayor variación de la escorrentía proyectada en milímetros se presenta en la macrozona sur del país, seguida por la macrozona austral y centro, finalizando con la macrozona norte. Sin embargo, en términos porcentuales, se observa una variación de escorrentía semejante para la macrozona norte, centro y sur, y una disminución un tanto menor para la austral. Se puede observar que esta variable, responde de forma semejante a la precipitación (Tabla 5.1)

**Tabla 5.3: Media variación de escorrentía en milímetros y porcentual agrupada por macrozonas.**  
 Fuente: Elaboración Propia.

Macrozona	Media variación escorrentía [mm]	Media variación escorrentía [%]
Norte	-4.5	-17.8%
Centro	-73.0	-21.1%
Sur	-206.4	-16.7
Austral	-92.7	-4.2%

En la Figura 5.11, se observa la distribución de la variación de la escorrentía en milímetros, datos que se encuentran agrupados a escala de macrozona. En esta, se observa que la macrozona norte no presenta una gran variabilidad en sus proyecciones de escorrentía, de hecho, sus datos se encuentran concentrados cerca de los 0 mm. Caso distinto al resto de las macrozonas del país, en específico, las macrozonas centro y sur, presentan un rango de variación de alrededor de 200 mm, aunque con órdenes de magnitud que difieren, ya que tal como se mencionó anteriormente, la macrozona sur, presenta variaciones mucho más elevadas. Finalmente, la macrozona austral, muestra un rango cercano a los 400 mm, con una distribución de datos mucho mayor al del resto de las macrozonas, de hecho, muestra que existen subcuencas, donde hasta se espera que aumente el caudal.



**Figura 5.11: Variación escorrentía media en mm proyectada (2030-2060) respecto a histórica (1985-2015), agrupada en macrozonas.** Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.12, se observa las distribuciones de las variaciones a nivel de subcuenca, agrupadas en macrozonas. En esta se muestra que la macrozona norte concentra sus datos en disminuciones de entre el 0% y el 50%, presentando algunas cuencas con outliers (o valores atípicos). La macrozona centro, presenta sus

datos concentrados en un gran intervalo (alrededor de un -25%), mientras que la sur, en intervalos que van del -25 a 0%, tendencia similar a la de la macrozona austral, aunque esta muestra, tal como se mencionó anteriormente, aumentos en sus caudales.

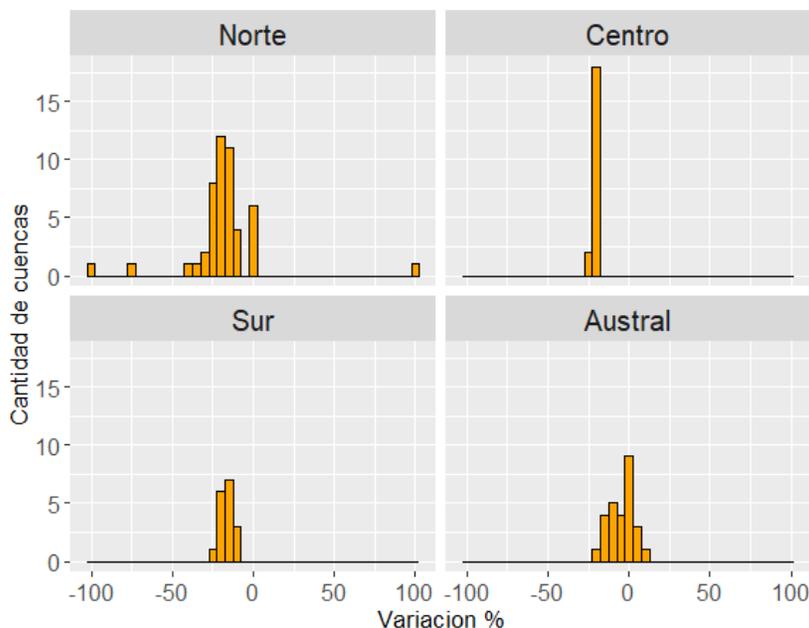


Figura 5.12: Variación escorrentía media (porcentual) proyectada (2030-2060) respecto a histórica (1985-2015), agrupada en Macrozonas. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la información entregada anteriormente, se puede concluir que las variaciones de precipitaciones y escorrentía tanto en milímetros como términos porcentuales presentan un comportamiento similar. Los resultados en milímetros muestran las mayores disminuciones en la macrozona sur, luego, con disminuciones de órdenes de magnitud semejantes, se encuentran la macrozona austral y centro, seguida por una disminución bastante menor en la macrozona norte. Sin embargo, al observar estos valores en términos porcentuales, se obtienen valores en rangos similares, con disminuciones de entre un -11.5% y un -15.5% para las precipitaciones, mientras que entre un -16.5% y un -22% para la escorrentía.

En cuanto a la evapotranspiración, esta presenta disminuciones de alrededor del 10% en la macrozona norte y centro, lo que podría deberse a la disminución de precipitaciones, en tanto la zona sur muestra un comportamiento homogéneo con un amplio rango de variaciones. En cuanto a la evapotranspiración, esta muestra un aumento, el cual no es significativo, debido al alto valor registrado históricamente para esta variable.

Estas disminuciones en la disponibilidad hídrica, además de dificultar el acceso al agua, tanto para la población como para los distintos sectores productivos, podría tener efectos colaterales en la calidad de las aguas, ya que, al haber menor cantidad de agua, los contaminantes presentes, aumentarían su concentración.

## 5.1.2 Mapa de Índice de Calidad

Como se ha recalcado anteriormente, la SH no sólo se relaciona a la cuantificación del recurso hídrico, sino también a la caracterización de su calidad. Esto supone un desafío, pues no siempre es posible contar con información actualizada respecto de la calidad, y ésta es muy variable dependiendo de la fuente (superficial o subterránea) y del territorio (en el norte serán más importante, por ejemplo, monitorear arsénico y menos relevante al sur).

Sin embargo, el índice de calidad, cuyo detalle se encuentra en el acápite 2.2.3.5, presenta una alternativa valiosa que permite reconocer si una cuenca presenta evidencias de contaminación respecto de un set de parámetros medidos a nivel nacional. A continuación, se presenta la información y metodología que se usaron para construir este índice a nivel de subcuenca para todo el territorio.

### 5.1.2.1 Información base

Se utilizó como base de datos la información generada por el Mapa Hidroquímico de Chile (2019), el cual entregó como resultados el promedio de diversos parámetros, los cuales fueron confeccionados con los datos de calidad de agua que dispone la DGA. La información en detalle se encuentra disponible en la página web de la DGA en el estudio SIT N° 448 Mapa Hidroquímico de Chile DGA/DICTUC S.A 202019. Cabe señalar que estos mismos datos fueron empleados para la elaboración del Atlas del Agua (2020)

La base de datos consultada proporcionaba la información de la estación de la cual se obtuvieron las mediciones, específicamente: código BNA, nombre, calidad (vigente y suspendida), medición (superficial y subterránea), ubicación, el código y nombre de la región a la que pertenece, el código y nombre de la provincia a la que pertenece, además de la comuna. Cabe señalar que para este análisis se consideraron sólo las estaciones con calidad de vigentes.

### 5.1.2.2 Metodología

Para poder generar el índice de calidad a nivel de subcuenca, se tomó como base la metodología descrita en el Informe Final de la “Estimación de la Demanda Actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los Recursos Hídricos en Chile” (2017), donde se genera un indicador en base a clases de calidad de los parámetros descritos en la Tabla 2.8, cuyos valores de corte se presentan en mg/L. Estos valores de corte se calculan a través de la interpolación lineal entre las concentraciones límites de cinco clases de calidad (0 a 5) definidas a partir de cuatro valores de corte (VC1 a VC4), asociados a límites máximos presentados en distintas normas nacionales e internacionales o recomendaciones vigentes de calidad de agua para distintos usos. Estas clases de calidad se asocian a distintas condiciones cualitativas químicas de los acuíferos en estudio.

Cabe señalar que se escogió esta metodología de cálculo de Índice de Calidad ya que se contaba con la información suficiente de gran parte de los parámetros señalados en la Tabla 2.8, en las distintas estaciones vigentes distribuidas a lo largo del país.

Solo para el caso de los Sólidos Disueltos Totales (SDT), la base de datos utilizada no proporcionaba una cantidad de información suficiente para generar este indicador individual a lo largo del país, motivo por el cual se trabajó, en su reemplazo con el dato de conductividad, utilizando para ello la equivalencia proporcionada por la empresa Hanna Instruments, la cual es líder mundial en instrumentos electroquímicos, fotométricos y electrodos. Esta empresa señala que una buena aproximación es la siguiente igualdad:  $2 \mu\text{S}/\text{cm}$  (conductividad) =  $1 \text{ ppm}(\text{mg}/\text{L}, \text{SDT})$ .

La base de datos utilizada proporcionaba algunos parámetros con el valor -999, el cual se consideró como dato faltante. Además, para el caso del Plomo se consideró que, si reportaba una concentración de 0,01, también este era un dato faltante, puesto que, en las fichas de las estaciones que mostraban este valor, se señalaba que había pocos datos sin censura, por lo que no se mostraban estadísticas.

A partir de los resultados del Índice de Calidad individual para cada parámetro considerado, se calcula el Índice de Calidad (IC) general en base a la categorización detallada en la Tabla 2.9.

Se consultó la NCh409 para obtener los parámetros que afectan a la salud humana, siendo estos: magnesio, nitrato, plomo, hierro y arsénico.

Finalmente, para generar la cartografía mostrada en la sección de resultados, se trabajó a nivel de subcuencas DARH, bajo el siguiente criterio:

- Si la subcuenca no contaba con estaciones dentro de su espacio, se consideró como “sin información”
- Si la subcuenca contaba con una estación, se le asigna el Índice de Calidad de esa estación a la subcuenca.
- Si la subcuenca contaba con más de una estación dentro de su área, se utiliza el método IDW, empleando la herramienta de este método en el software QGIS, para calcular un Índice de Calidad para la subcuenca.

### 5.1.2.3 Resultados

En la Figura 5.13, se muestran los resultados obtenidos para el Índice de Calidad a nivel de subcuenca. En este se muestran las zonas con mejor calidad de agua en colores verdes, mientras que aquellas con peores registros en colores rojizos, en tanto, las subcuencas sin información se presentan en amarillo.

En general, se observa que las zonas con peor calidad de aguas se concentran en la macrozona norte, donde además existen una gran cantidad de subcuencas sin información. En tanto que, la macrozona centro, presenta una gran cantidad de subcuencas con un IC entre 2.6 y 3.0, mientras que la macrozona sur y austral presentan una mayor cantidad de subcuencas con mejores niveles. Finalmente se observa que, en esta última macrozona, gran parte de las subcuencas costeras no posee registros de calidad de aguas.

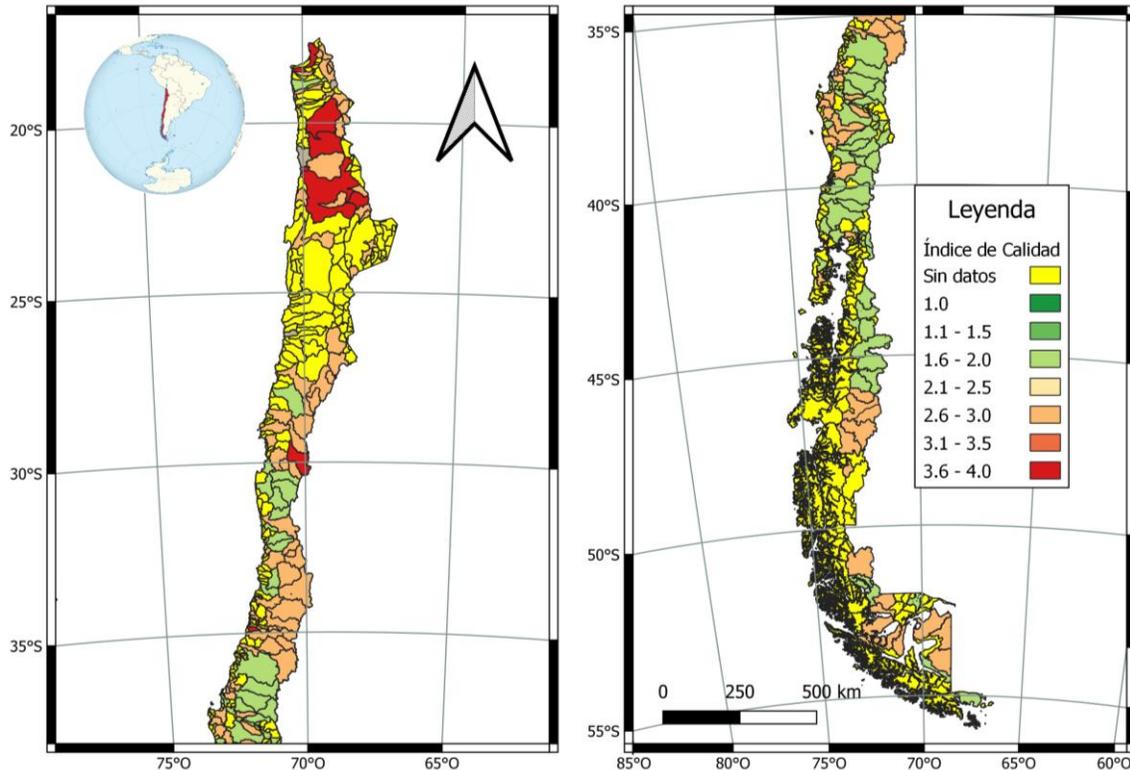


Figura 5.13: Distribución Índice de calidad a nivel de subcuenca. Fuente: Elaboración propia.

Se sugiere la siguiente relación entre el IC y el nivel de Seguridad Hídrica (Tabla 5.4).

Tabla 5.4: Clases de Calidad y sus Valores de Corte según Parámetros Considerados. Fuente: adaptado de DGA-GEOH, 2009.

N°	Clase	Nivel de Seguridad Hídrica
1	Excepcional	Excepcional
2	Buena	Bueno
3	Regular	Regular
4	Insuficiente	Insuficiente
5	Intratable	Nulo

En la Figura 5.14, se muestra la fuente de las estaciones desde las cuales se obtuvieron los datos, pudiendo ser: superficial, subterránea, mixta (superficial y subterránea). Se observa que en general, estas son o superficiales o mixtas, aunque en la macrozona central se puede notar que esta tiende a ser mixta, mientras que, en la macrozona austral, prácticamente en su totalidad, estos datos provienen de estaciones superficiales.

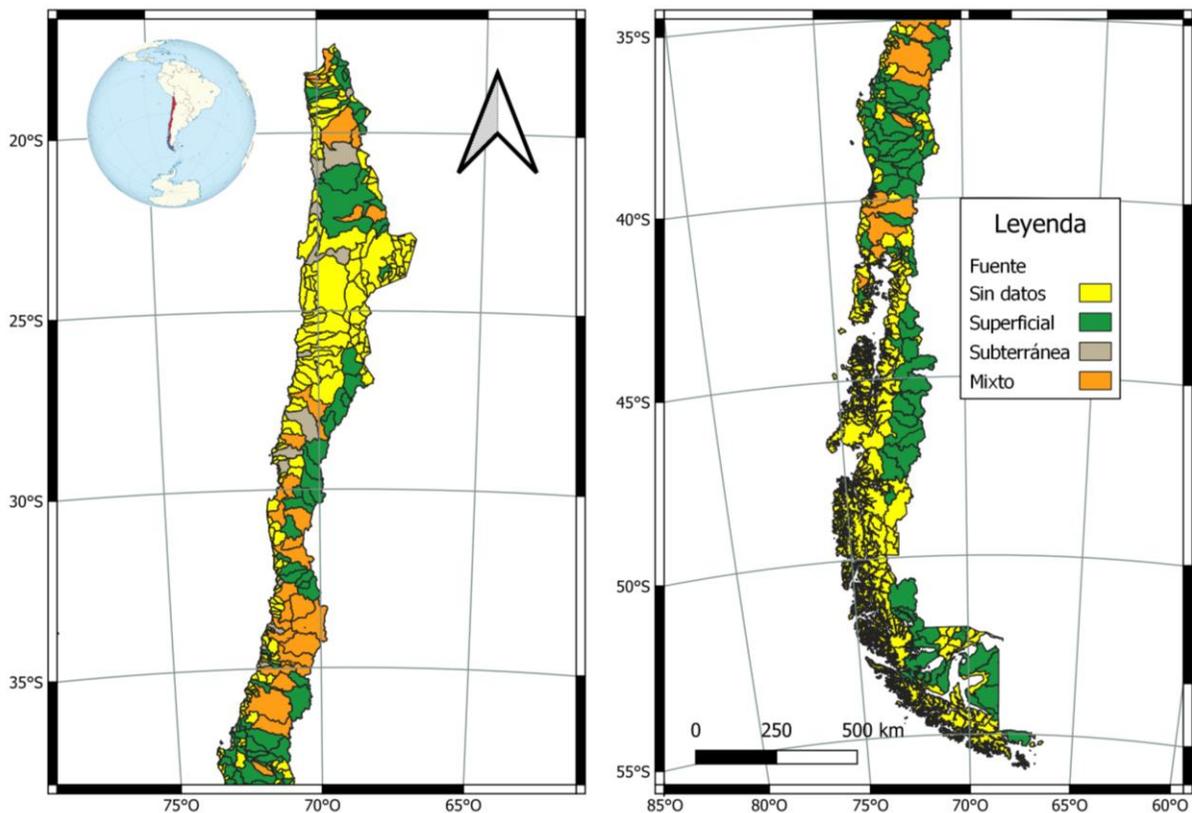


Figura 5.14: Fuente de las estaciones empleadas para construir el índice de calidad. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2.4 Análisis de resultados

En la Tabla 5.5, se muestra la cantidad de subcuencas totales por macrozona, la cantidad que no cuentan con información y qué porcentaje representan. Se observa que, en general a nivel país, existe una gran falta de información en términos de calidad, ya que todas las macrozonas presentan más del 60% de sus subcuencas sin información. Esta tendencia se ve más marcada en la macrozona norte y austral, aunque de acuerdo con lo observado en la Figura 5.13, la primera presenta cuencas de mayor extensión sin información, mientras que la segunda son subcuencas más pequeñas, pero concentradas en la costa. Además de acuerdo con esta misma cartografía, la cantidad de subcuencas sin información, al menos en la zona central, corresponderían en gran parte a aquellas que abarcan áreas bastante reducidas. De acuerdo con esto, se sugiere ampliar la red de monitoreo de calidad de aguas, y que esta información se encuentre centralizada y disponible para el público en general.

Tabla 5.5: Detalle de subcuencas a escala de macrozonas. Fuente: Elaboración propia.

Macrozona	Cantidad total de estaciones	Cantidad de subcuencas sin información	Porcentaje de subcuencas sin información
Norte	206	152	73.8%
Centro	69	47	68.1%
Sur	92	59	64.1%
Austral	224	184	82.1%

En la Figura 5.15, se muestra la distribución de los índices de calidad a escala de macrozona. Se puede observar que la macrozona con peor calidad de aguas es la norte, seguida por la macrozona centro. En tanto las macrozonas sur y austral, muestran una tendencia similar, con alrededor de 15 subcuencas con IC cercano a 2, y cerca de 12 con un IC 3.

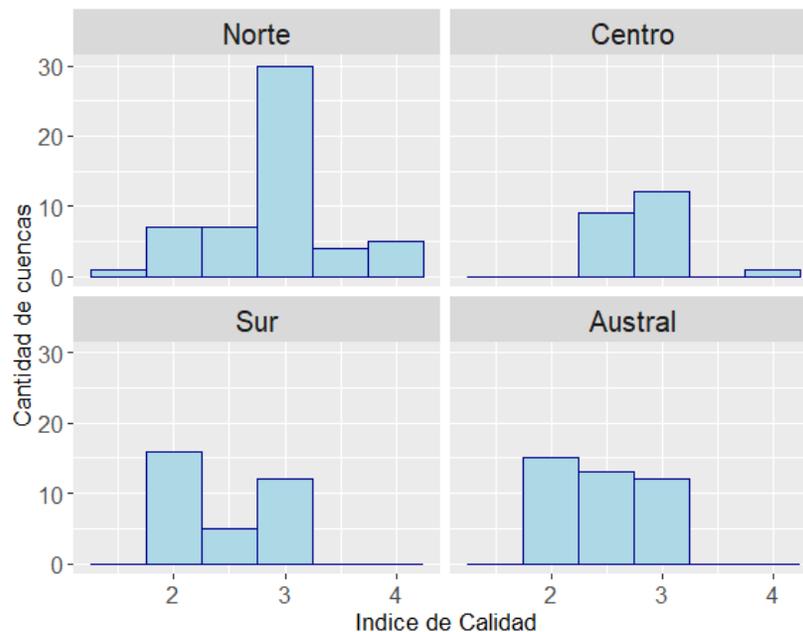


Figura 5.15: Distribución índices de calidad a escala de macrozonas. Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados pueden deberse, en parte, a los sectores económicos que realizan sus faenas en cada subcuenca, las cuales además de consumir recursos hídricos, generan desechos propios de cada actividad. La macrozona norte, además de contar con una gran cantidad de mineras realizando sus actividades, posee una cantidad de precipitaciones y un caudal menor que el resto del país, por lo que todos estos desechos poseen menor cantidad de agua para diluirse, es decir, esta condición asociada a la cantidad de recursos hídricos disponibles también repercute en la calidad de las aguas.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se puede concluir que la principal brecha para asegurar un nivel de calidad de aguas a nivel nacional es la falta de datos, aunque esta sería más grave en la macrozona norte, ya que, además de existir una gran cantidad de subcuencas sin datos, estas abarcan una gran cantidad de territorio. Esta situación incluso podría considerarse más grave que el contar con una calidad de aguas deficiente, ya que, al no contar con datos, no es posible siquiera hacer un diagnóstico de la zona, en tanto que la segunda, al menos se puede contar con la información para que, aquellas personas que deban tomar decisiones puedan hacerlo adecuadamente.

De los datos obtenidos, nuevamente es la macrozona norte, la que presenta peores registros, seguida por la macrozona centro. En tanto las macrozonas sur y austral, presentan mejores registros de calidad de agua. Las razones de esto pueden encontrarse tanto en las actividades económicas que se desarrollan en cada macrozona, como en la cantidad de precipitaciones y caudal propio de estos territorios.

## 5.2 Matriz de ejemplos de SH y su relación con las SbN

La Matriz comprometida como producto, es explicada en detalle en el acápite 3.10.2 del presente Anexo. Las medidas presentadas no solo incluyen soluciones clasificadas como SbN, sino que conforman un set de medidas variadas que mediante el cumplimiento de distintos objetivos abordan una serie de problemáticas que enfrentan los recursos hídricos asociados a diversos usos de acuerdo con el sector productivo de interés que es definido en la LMCC.

Estas soluciones se agrupan en 4 grandes ejes de transición hídrica: gestión e institucionalidad, conservación y protección de nuestros ecosistemas hídricos, eficiencia y uso estratégico del recurso hídrico y, finalmente, migración e incorporación de nuevas fuentes de agua.

La matriz presentada considera una serie de columnas que aportan una completa fuente de información que ayuda a la evaluación de una medida para un territorio en particular, y para conocer el potencial de esa medida en convertirse en una SbN para los criterios definidos en el informe.

La matriz proporcionará una base de datos de medidas que constituyan oportunidades para repensar las maneras en cómo se abordan ciertos problemas, de ahí a que no se ha efectuado un descarte a priori de éstas.

Cada solución levantada detalla los cobeneficios que posee y las limitaciones de aplicación, y sobre todo a la amenaza que responden.

En resumen, cada herramienta levantada y generada en este estudio posee limitaciones y también oportunidades para efectos de su inclusión e interpretación. La Tabla 5.6 presenta estos aspectos haciendo hincapié a las brechas que se pueden mejorar y los aspectos positivos de cada herramienta.

**Tabla 5.6: Resumen de oportunidades y limitaciones de las herramientas levantadas (recopiladas) y generadas para la estimación y caracterización de la SH a nivel nacional.**

Herramienta	Oportunidades	Limitaciones
ARClim	Atlas que permite una visualización veloz y transparente de indicadores asociados a la evaluación del riesgo para distintos sectores productivos.	En cuanto a la información, permite la descarga limitada de datos, siendo ideal que se pudiesen descargar los datos a una escala diaria o mensual para cualquier variable.
	En términos hidrológicos, ligados a la SH, presenta mapas de sequía, inundaciones y riesgo de SH a escala urbana y rural	Varios links de descarga se encuentran desactivados u erróneos.
	Posee un explorador de amenazas climáticas que permite analizar un determinado indicador, a escalas territoriales distintas (como cuencas, comunas, etc.) y para diferentes agregaciones temporales.	Si bien no es una limitación en sí, es recomendable un paso adicional que permita recomendar indicadores u amenazas específicas ligadas al sector o problema que se trate de resolver.

Herramienta	Oportunidades	Limitaciones
WSI	Ya ha sido aplicado a todo Chile y cuenta con aplicaciones concretas al menos en las cuencas de la plataforma CAMELS.	Es necesario conocer la oferta hídrica del sistema, ojalá sin intervención y proponer un criterio para definirla.
	Permite aprovechar el levantamiento de información de caudales ecológicos	Si bien trabaja con el derecho del caudal, es ideal replicarlo con la demanda real.
	Es aplicable en teoría a cualquier tipo de demanda.	Es recomendable tener en cuenta que la definición del caudal ecológico se ha efectuado con una hidrología histórica distinta a la actual, por lo que el índice debería sensibilizarse con una estimación de caudal ecológico que incluya el periodo de sequía prolongada.
Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe	Permite una caracterización rápida de las principales zonas áridas expuestas a desbalances naturales	Se debiese actualizar al menos cada 5 años y tener indicadores que acrediten el avance de la condición de aridez en términos de cobertura espacial e intensidad del déficit de Pp y ET.
Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe.	Hace una descripción del fenómeno de la sequía y su impacto natural y productivo en Chile	Hay un espacio para hacer recomendaciones de índices concretos a adoptar.
	Caracteriza impactos más allá de los tradicionales dedicados a la precipitación, por cuanto analiza el aporte de nutrientes de ríos, el aumento de área forestal quemada, etc.	Aparte del mapa, sería ideal contar con las series de tiempo con las que se trabajan.
	Permite contar con mapas de sequías asociados a eventos extremos de distinto periodo de retorno y duración del déficit.	
WaterProof	Permite la evaluación y diseño de planes que incluyan SbN para una cuenca completa	Requiere bastante validación de terreno, dado el enfoque territorial e impacto social que deben tener las SbN son en efectos atingentes a cada territorio.
	Es una plataforma de uso sencillo, y gratuita.	No es una limitación en sí, pero sería ideal hacer una experiencia piloto de la plataforma a un caso local en donde también se esté implementando una SbN.
Mapas de Variación de Pp, ET y escorrentía.	Permite una visualización de los resultados a nivel de cuenca presentados por la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA 2017-2020).	La escala es fija, a nivel de cuenca.
	Permite, en el contexto de la SH, analizar si el riesgo de SH, por ejemplo, que aparece en ARClím, tiene una componente ligada a la disminución de Pp o baja en escorrentía.	Se puede procesar a otra escala pero requiere claridad respecto de los productos definitivos del Balance.
	Los mapas están sustentados con las tablas que resumen la variación promedio, pero también rescatan los 4 GCM's procesados en el estudio.	Si bien procesa el último Balance Hídrico, no tendrá los últimos resultados de la homologación del Balance que se espera se liberen el 2023.
Índice de Calidad del Agua	Propuesta que incorpora un set local de parámetros locales para el diagnóstico de la calidad de agua a nivel de subcuenca	Técnicamente, es una foto del último periodo de datos, por lo tanto, se debiese calcular y procesar continuamente.
	Permite proponer nuevos elementos que sean atingentes a la evaluación	Puede haber elementos no incluidos dentro del índice que sean relevantes porque desde su origen no se monitorean. Esta brecha es inherente a cualquier indicador.

Herramienta	Oportunidades	Limitaciones
	Es replicable a cualquier zona y permite complementar la SH que se informa en ARClím, ayudando a discernir posibles problemas ligados a la contaminación del recurso y no solo a la cantidad del mismo.	Está centrado en el consumo humano, pero se puede comparar contra cualquier estándar, de manera de categorizar por sectores productivos.

Parte de las labores de este estudio apuntan a analizar de qué manera se puede cuantificar la SH, cómo medirla y como alcanzarla a través de las SbN. En el entendido que la definición conceptual involucra tanto la cuantificación del recurso como la definición de su calidad, se han buscado herramientas conducentes a aportar en la definición de estos parámetros a nivel nacional, considerando que la guía puede requerir que cualquier usuario conozca el estado de su zona de estudio en términos de cantidad y calidad del agua.

La SH además tiene dimensiones, no sólo al consumo humano, sino que también la protección del ecosistema. En este sentido, el explorador de amenazas de ArClím se enmarca en la dimensión de cuantificación del recurso, pero a través de un mapa de riesgo que no precisa de manera directa el origen de la “inseguridad”. A partir de la Actualización del Balance Hídrico de Chile (DGA, 2017-2020) se han generado mapas de esorrentía que complementan el diagnóstico de ARClím, mientras que la dimensión asociada al ecosistema se puede abordar con el índice WSI.

El índice de calidad aborda de manera más directa los problemas de contaminación, mientras que la plataforma Waterproof brinda oportunidades para la evaluación de SbN’s, la matriz que se propone en esta consultoría permite proporcionar un “desde” en términos de consideración de soluciones que se podrían evaluar dependiendo de la mirada territorial que se aplique y el impacto social a priorizar.

## 6 ANÁLISIS MEDIDAS PRESENTADAS EN LA MATRIZ

Para efectos de este informe, se analizarán tres aspectos de la matriz: Seguridad Hídrica, sectores involucrados, y objetivos de Seguridad Hídrica abarcados.

Como se mencionó anteriormente, la SH se relaciona con la posibilidad de acceder a una cantidad de agua de calidad. Por lo tanto, es necesario evaluar si las medidas presentadas en la matriz abarcan ambos aspectos. En la Tabla 2.1Tabla 6.1, se muestran las medidas que consideran tanto la calidad como la cantidad de los recursos hídricos, así como aquellas que solo se enfocan en uno de estos aspectos. Se observa que 141 medidas solo abordan uno de estos aspectos, mientras que 96 medidas contribuyen a abordar la SH de manera integral. Cabe señalar que el total de medidas que abarcan SH, son 237.

Al realizar el análisis considerando solo las medidas SbN, se puede apreciar que hay más de 57 medidas que contribuyen de alguna manera a abordar el problema de la SH. En la última columna, se muestra el porcentaje de medidas SbN en relación al total de medidas, donde se puede observar que estas representan, solo un 24% del total de estas.

**Tabla 6.1: Aspectos de Seguridad Hídrica abarcados por las medidas. Fuente: Elaboración propia.**

Aspecto	Cantidad de medidas	Cantidad de medidas SbN	Porcentaje de medidas SbN respecto de medidas totales
Cantidad y calidad	96	20	21%
Solo cantidad o solo calidad	141	37	26%
Total	237	57	24%

En la Tabla 6.2 se cuantifican las medidas que abordan la cantidad y calidad de los recursos hídricos por separado. Se puede notar que hay un total de 202 medidas que se enfocan en la cantidad de agua, lo cual es positivo, ya que mejorar la cantidad de agua disponible tiene un impacto en la calidad. Al tener más agua, los contaminantes pueden disolverse mejor y su concentración se reduce.

Al hacer el mismo análisis, pero solo considerando las medidas SbN, se observa que hay 77 medidas que contribuyen a la SH, lo cual es una buena señal. Sin embargo, estas medidas solo representan poco más del 20% del total de medidas, lo que indica que aún se necesita trabajar en la implementación de más medidas para garantizar una SH integral.

**Tabla 6.2: Aspectos de Seguridad Hídrica abarcados por las medidas. Fuente: Elaboración propia.**

Aspecto	Cantidad de medidas totales	Cantidad de medidas SbN	Porcentaje de medidas SbN respecto se medidas totales
Cantidad	202	50	25%
Calidad	132	27	21%

En la Figura 6.1 se muestran los sectores directamente involucrados en azul (relación tipo 3 definida en la matriz, es decir, aquellas medidas que son directamente aplicables al sector respectivo) resultado que se obtiene luego de analizar todas las medidas considerando como filtro, aquellas que abarcasen SH desde el punto de vista de cantidad y/o calidad. Se observa que los sectores con mayor cantidad de medidas son recursos hídricos, seguido por el silvoagropecuario, el primero con 224 medidas, mientras que el segundo con 127. Otros sectores que destacan son infraestructuras y minería. Además, se puede observar que los sectores

que cuentan con menos medidas son el sector de transporte, pesca y acuicultura y turismo, ninguno de ellos con más de 20 medidas directamente relacionadas.

Además, en la misma figura, se muestran medidas con relación de tipo indirecta o parcial en celeste (relación 2). Aquí se observa que los sectores con mayor cantidad de medidas son ciudades y salud, sectores que contaban con una baja cantidad de medidas en el análisis anterior. Esto indicaría que las medidas propuestas generarían un efecto colateral en estos sectores. El sector que se repite como el menos abarcados es transporte (no se considera recursos hídricos, ya que es el sector con mayor cantidad de medidas con relación 3).

En general, se observa un auspicioso conjunto de medidas enfocadas directamente en el sector agropecuario, dado que este sector es el mayor consumidor de agua proveniente de fuentes superficiales y/o subterráneas EH, 2022). Sin embargo, se considera insuficiente el enfoque en medidas relacionadas con el sector energético, el cual beneficia a otros sectores y se prevé un aumento en su demanda (Foro Económico Mundial, 2011).

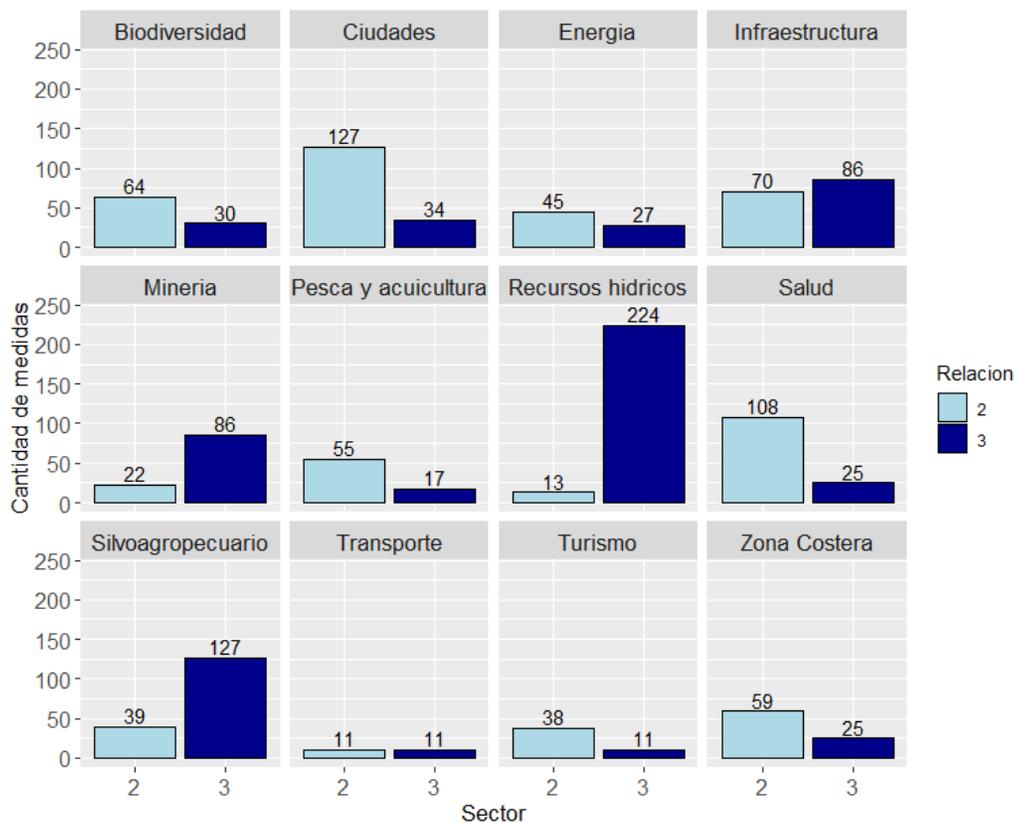


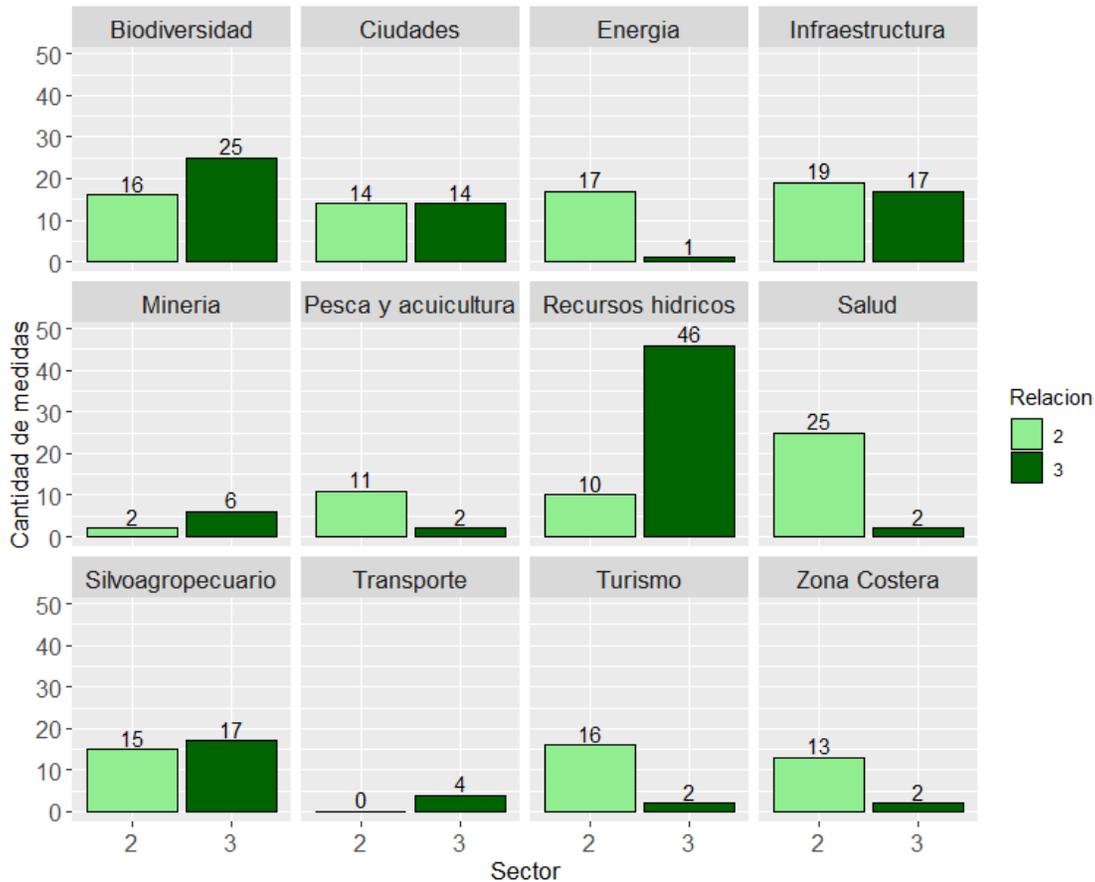
Figura 6.1: Cantidad medidas SH agrupadas por sector. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6.2, se muestran las medidas relacionadas con SH, ahora filtradas por SbN. Se observa nuevamente que el sector de recursos hídricos es el más abarcado directamente, seguido por biodiversidad, lo cual se debe en gran parte a que una SbN puede fomentar una ganancia neta de biodiversidad como uno de sus cobeneficios, pero también como un criterio que define a una SbN como tal.

Si se examinan los sectores de manera general, se puede notar que, en ambos grupos, el sector de transporte tiene la menor cantidad de medidas. Sin embargo, es preocupante la falta de medidas directas en los sectores de minería y energía. La minería, en particular, ya que algunas de sus operaciones se realizan en zonas altas de la cuenca, lo que puede afectar la calidad y cantidad de agua en las secciones más bajas de la cuenca. Por otro lado, el sector de energía, como se mencionó anteriormente, beneficia a otros sectores y se espera un

aumento en su demanda (Foro Económico Mundial, 2011), siendo ideal entonces complementar esta matriz con medidas relacionadas a estos sectores de manera directa.

Es importante señalar que el filtro utilizado para seleccionar las medidas relacionadas con la SH incluye todas aquellas que contribuyen de alguna manera a mejorar la calidad o disponibilidad del recurso hídrico, independientemente de si su objetivo específico era la SH o no. Por ejemplo, la recuperación y conservación de bofedales es una medida cuyo objetivo principal es la restauración ambiental y el aumento de la biodiversidad, sin embargo, esta medida también tiene un cobeneficio en la mejoría de la calidad y cantidad (disponibilidad) del agua, por lo que, aunque no tenga como objetivo principal la SH, se considera como una medida que permite alcanzar la SH.

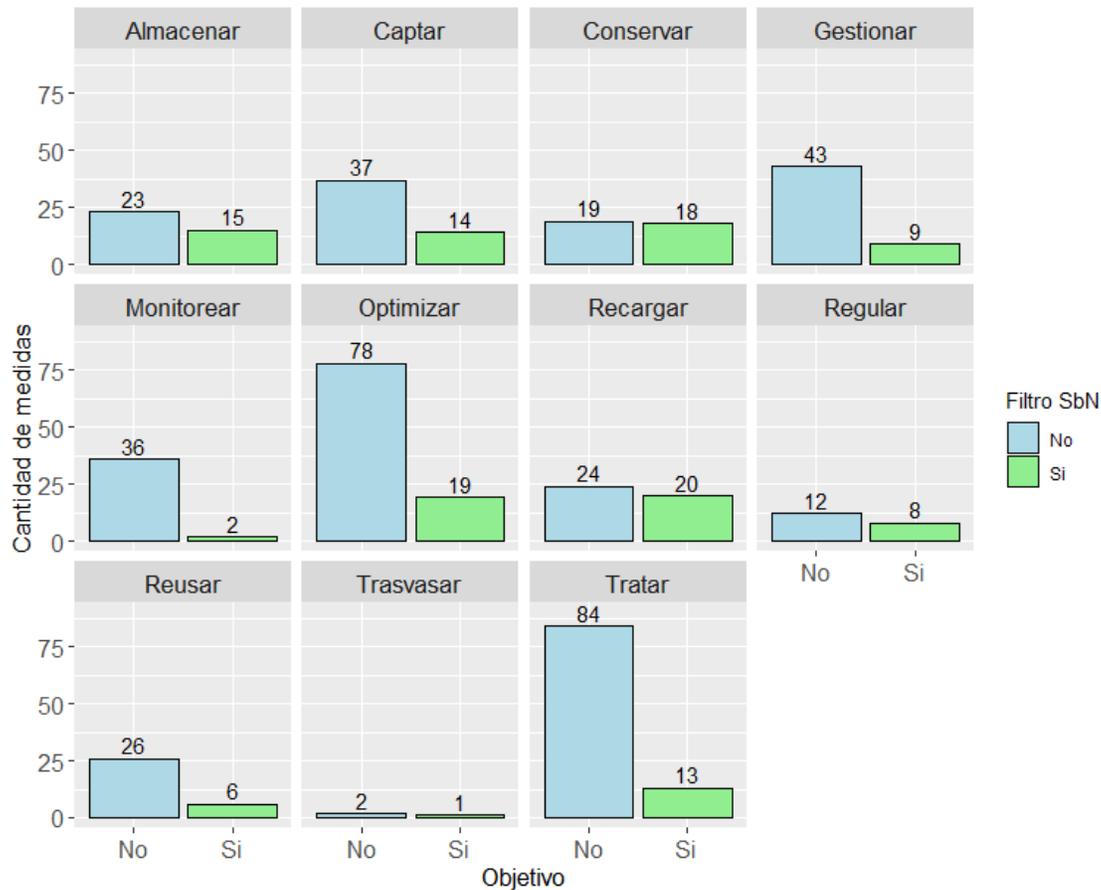


**Figura 6.2:** Cantidad medidas SH y SbN relacionadas de forma indirecta o parcial agrupadas por sector.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6.3, se presentan los objetivos de SH abarcados por las medidas (una medida podía abarcar más de un objetivo). En esta se aprecia que en términos generales (barras celestes), los objetivos con mayor cantidad de medidas fueron optimizar y tratar, los cuales apuntan mejorar la cantidad disponible como la calidad de los recursos hídricos disponibles. En contraparte, aparece trasvasar como el objetivo con menor cantidad de medidas, lo que puede considerarse como favorable considerando que, en general, se prevén disminuciones de precipitaciones (y por tanto disponibilidad hídrica) en todo el país, siendo probablemente poco sostenible el traslado de recursos de una cuenca a otro.

Al evaluar las medidas SbN, estas muestran abarcar una gran cantidad de objetivos con entre 10 y 20 medidas, siendo estos en orden decreciente: recargar, optimizar, conservar, captar, almacenar y gestionar. Este valor parece insuficiente, considerando que algunos de estos objetivos no cuentan con experiencias que

proporcionen información acerca del tiempo en que se generarían estos beneficios, luego de implementar la SbN.



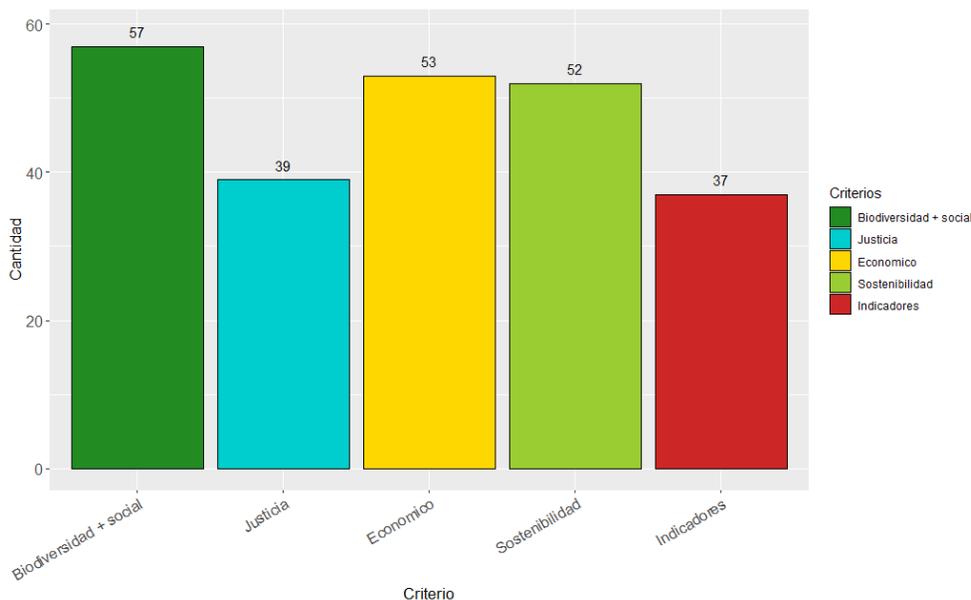
**Figura 6.3: Objetivos SH abarcados por las medidas. Fuente: Elaboración propia**

De estos análisis se puede concluir que, a pesar de que las SbN han mostrado ser una alternativa para la adaptación al cambio climático debido a los beneficios y cobeneficios propios de cada una, estas no brindan un amplio catálogo que abarque todos los sectores mencionados anteriormente. Es por ello que se recomienda considerarlas siempre como prioridad al momento de diseñar un proyecto, pero que estas también pueden implementarse para cumplir el rol de complementar o salvaguardar estructuras grises o soluciones no basadas en la naturaleza. Adicionalmente, es pertinente señalar que las medidas recopiladas representan un “desde” y en ningún caso un “hasta”, por lo que la base de datos es dinámica y debe complementarse conforme se implementen nuevas experiencias piloto en Chile y con nuevos estudios a nivel internacional.

En la Figura 6.4 se muestran los criterios SbN abarcados por las medidas de SH. En términos generales, los resultados obtenidos indican que las mayores brechas se encuentran en los criterios de justicia (gobernanza inclusiva y equilibrio entre compensaciones) y en los indicadores de monitoreo, seguimiento y verificación. Estos criterios son fundamentales para la implementación efectiva de una SbN. Sin embargo, la falta de indicadores adecuados dificulta la evaluación de estas medidas en términos de aprobación de financiamiento y seguimiento de los plazos para lograr los beneficios esperados. Adicionalmente, validar un beneficio económico, requiere por cierto la existencia de una línea base. Esto representa una brecha en sí mismo, por lo que en un comienzo, conviene seleccionar SbN validadas a nivel internacional, que cumplen todos los criterios antes de aquellas que no, de manera también de generar información base.

Por esta razón, se sugiere invertir en investigaciones directamente relacionadas con SbN, quizás a través de la implementación de programas piloto a pequeña escala. Esto permitiría recopilar información sobre los

indicadores necesarios para una evaluación adecuada de las medidas de SbN y buscar una evaluación multisectorial. De esta manera, se podría mejorar la implementación y evaluación de las medidas de SH con criterios de SbN en el futuro. En este sentido, a través del proceso PAC de entrevistas, han aparecido iniciativas destacables que se detallan en el informe.



**Figura 6.4: Cantidad de criterios SbN de medidas referidas a SH. Fuente: Elaboración propia.**

En cuanto a la Figura 6.5, muestra el gradiente de implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza en Chile, considerando criterios nacionales e internacionales, tal como se explicó en la Figura 3.8 del informe principal. De las medidas de SbN que abarcan la SH, 57 cumplen con los requisitos mínimos para proveer una ganancia neta de biodiversidad y beneficios sociales. Sin embargo, este número disminuye drásticamente a 38 y 39 para aquellas medidas clasificadas como aceptables y deseables, respectivamente.

Finalmente, solo 27 medidas son clasificadas como excelentes, lo que representa una cantidad preocupantemente baja, especialmente dada la crisis hídrica que enfrenta Chile en la actualidad, en el sentido que se deben priorizar las medidas que sean sostenibles y cuantificables a través de indicadores técnicos para poder validar su aporte.

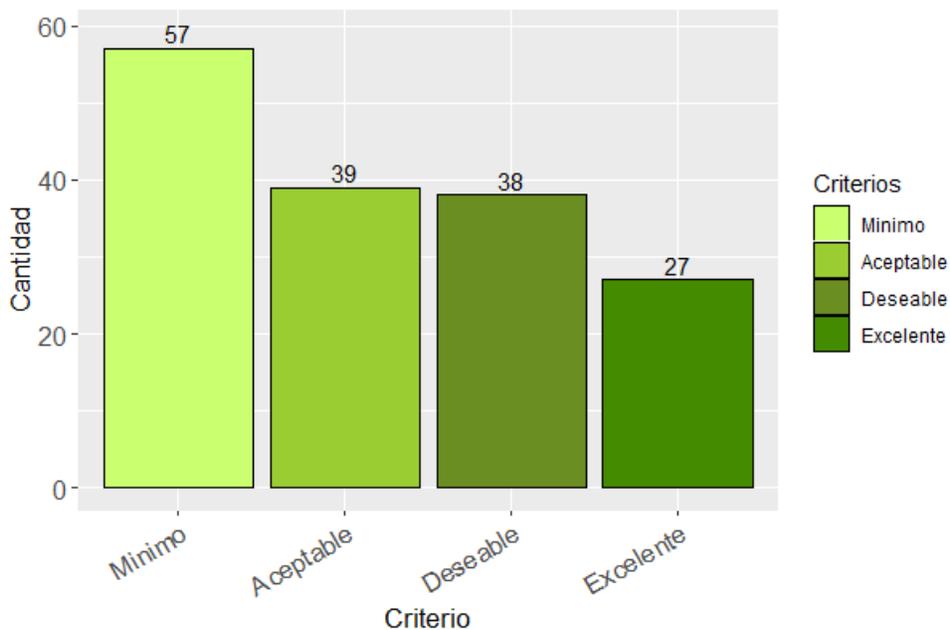


Figura 6.5: Cantidad de medidas y su clasificación según cuántos criterios cumplían. Fuente: Elaboración propia.

## 7 CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

La Seguridad Hídrica se define como la posibilidad de tener acceso al agua en cantidad y calidad aceptables, permitiendo la subsistencia de la vida humana, la preservación de los ecosistemas y el desarrollo productivo, considerando para ello una escala espacial dinámica (cuencas, ríos, ciudades, etc.), promoviendo servicios hídricos resilientes, capaces de evitar, mitigar y adaptarse a los peligros y amenazas que enfrenta el sistema hídrico y minimizando los impactos de carácter destructivo sobre la sociedad, su economía y ecosistemas que resultan tanto de eventos de exceso (inundación), disminución (sequías) y de calidad (contaminación) de agua. Esta definición se propone de acuerdo con los antecedentes internacionales y nacionales analizados para efectos de este estudio.

A nivel local, la SH presenta como grandes amenazas el aumento en la frecuencia de eventos de sequía, sumado a inundaciones que traen consigo sedimentos que contaminan los cursos de agua. Además, se encuentran los efectos de las actividades antrópicas producto del consumo propio de las actividades ligadas a los distintos sectores sumado a la contaminación en los cuerpos de agua a distinta escala que estos traen consigo.

Respecto al marco normativo nacional, se considera que aquellos generados más recientemente (LMCC, ECLP, NDC, Código de Aguas), sí brindan lineamientos generales que ayudan a incorporar el concepto de SH al resto de instrumentos que están en proceso de actualización o generación. En cuanto a los planes de adaptación, no se encuentran medidas y acciones que aborden de forma integral el concepto de SH, ya que las medidas relacionadas con recursos hídricos apuntan a aumentar la cantidad disponible, ubicando en un segundo plano la calidad de este. A modo general, se identifican como grandes brechas: la red de monitoreo y datos hidrometeorológicos con una baja densidad de estaciones, el no establecimiento de los impactos en la productividad biológica, la falta de equidad hídrica, el bajo control de la seguridad de obras de infraestructura, la falta de información de calidad del agua y la poca protección de reservas hídricas.

Parte de las labores de este estudio apuntan a analizar de qué manera se puede cuantificar la SH, cómo medirla y como alcanzarla a través de las SbN. En el entendido que la definición conceptual involucra tanto la cuantificación del recurso como la definición de su calidad, se han buscado herramientas conducentes a aportar en la definición de estos parámetros a nivel nacional, considerando que la guía puede requerir que cualquier usuario sepa el estado de su zona de estudio en términos de cantidad y calidad del agua.

La SH además tiene dimensiones, no sólo al consumo humano, sino que también la protección del ecosistema. En este sentido, el explorador de amenazas de ArClim se enmarca en la dimensión de cuantificación del recurso, pero a través de un mapa de riesgo que no precisa de manera directa el origen de la “inseguridad”.

Esto motiva la búsqueda de indicadores que ayudan a definir SH en un territorio en términos de cantidad (WSI) y calidad (Índice de Calidad). De forma adicional, a partir del procesamiento de la información del estudio de Actualización del Balance Hídrico de Chile (DGA, 2017-2020) se han generado mapas de escorrentía que complementan el diagnóstico de ARclim. Se presenta un mapa que entrega la variación de precipitación, evapotranspiración y escorrentía a escala de cuenca, de las proyecciones de estas variables (2030-2060) respecto a la media histórica de ellas (1985-2015) para el promedio de los 4 MCG evaluados en el estudio bajo el escenario RCP 8-5.

Además, se entrega un mapa de acuerdo con la clasificación de Índice de Calidad a nivel de subcuenca, siguiendo metodologías locales. El índice de calidad aborda de manera más directa los problemas de contaminación, en conjunto con un análisis detallado de los resultados y tendencias obtenidos del análisis. Adicionalmente, la plataforma Waterproof brinda oportunidades para la evaluación de SbN's. Como complemento, se entregan un set de herramientas que ayudan a complementar la información anterior para generar un diagnóstico de cada sector.

Se presentan a las Soluciones basadas en la Naturaleza como una alternativa innovadora que puede ser usadas para sustituir, complementar o salvaguardar la infraestructura gris tradicional a la par de proveer una mayor resiliencia climática y trayendo consigo una serie de cobeneficios. Sin embargo, la aplicabilidad de las SbN a

nivel nacional es escasa si es que estas se presentan solas y sin una evaluación de costo-beneficio y sobre todo si esto no se ejecuta manteniendo una mirada territorial, consciente de donde son necesarios los impactos sociales y donde son necesarias las relaciones público-privadas. Se sugiere que se presenten como partes de un sistema de soluciones, complementario a las soluciones más tradicionales y que provengan de una instancia participativa desde los actores, con énfasis en la inclusión de un enfoque de género, relevando aquellas soluciones que resaltan la participación de la mujer pero por sobre todo a aquellas soluciones que transforman su rol de involucramiento pasivo en la gestión y medición del recurso a un rol más protagónico, dada su estrecha relación con el recurso y a su capacidad organizativa, carácter responsable, metódico y de relación con la comunidad. En este sentido, las SbN debiesen incluir instancias, facilidades u herramientas que permitan al género femenino la posibilidad de dedicar ese tiempo a este involucramiento.

Del análisis de la matriz se concluyó que, a pesar de que las SbN han mostrado ser una alternativa eficaz para la adaptación al cambio climático, estas no brindan un amplio catálogo que abarque todos los sectores mencionados anteriormente y que son parte de la LMCC. Esto también tiene relación a que esta matriz de alternativas representa un “desde”, y por ende es dinámica y se nutre de las experiencias piloto internacionales y nacionales que se ejecuten, así como de las investigaciones locales que derivan en proyectos piloto para cuencas. En Chile ya se cuenta con un catálogo de SbN de experiencias nacionales que se están ejecutando realizado por la Fundación Chile.

Se recomienda considerar las SbN siempre como prioridad al momento de diseñar un proyecto, pero también con el rol de complementar o salvaguardar estructuras grises o soluciones no basadas en la naturaleza. Finalmente, al analizar los criterios de las medidas SbN referidas a SH, las principales brechas se encontraron en la incorporación de participación ciudadana y en el desarrollo de indicadores de monitoreo, seguimiento y verificación, para lo cual se sugiere invertir en iniciativas que levanten información respecto a estos últimos y profundizar medidas en los sectores con menos soluciones levantadas.