

RESUMEN ESTRATÉGICO

RADIOGRAFÍA DEL AGUA

BRECHA Y RIESGO HÍDRICO EN CHILE





RESUMEN ESTRATÉGICO
RADIOGRAFÍA DEL AGUA
Brecha y Riesgo Hídrico en Chile
Chile, Marzo de 2018

**Expertos que desarrollaron y
 revisaron los diferentes componentes
 de la Base Hídrica Integrada:**

Héctor Maureira, CAZALAC
 Carolina Jaramillo, Consultor Especialista
 Renata de Souza, Consultor Especialista
 Rodrigo Acevedo, Consultor Especialista
 Andrea Osses, Dirección General de Aguas
 Eduardo Rubio, Eridanus
 Mauricio Cartes, Eridanus
 Rodrigo Meza, Eridanus
 Valeska Cárcamo, Eridanus
 Elena Sanchis, Fundación Chile
 Daniel Chico, Water Footprint Network
 Cristóbal Girardi, Fundación Chile
 Raquel Charte, Fundación Chile
 Enrique Galecio, Instituto Nacional de Hidráulica
 Rodrigo Herrera, Instituto Nacional de Hidráulica
 Froukje Kuijk, UNESCO
 Mauricio Galleguillos, Universidad de Chile – CR2
 Mauricio Zambrano, Universidad de Chile – CR2
 Alberto Jopia, Universidad de Chile – CR2
 Cristóbal Puelma, Universidad de Chile – CR2
 Iván Castillo, Universidad de Chile – CR2
 José Vargas, Universidad de Concepción
 Bastián Sáez, Universidad de Concepción
 Rodrigo Aguayo, Universidad de Concepción
 Arjen Hoekstra, Universidad de
 Twente, Países Bajos
 Javier Vitale, U. Nacional de Cuyo – Argentina
 Patricia Puebla, U. Nacional de Cuyo- Argentina

Estudiantes que colaboraron:

Mariela Elorrieta, Practicante y Tesista
 Universidad Técnica Federico Santa María
 María José Gómez, Practicante y Tesista
 Universidad de Santiago de Chile
 Alejandro Meza, Practicante Universidad
 Técnica Federico Santa María
 Valezka Galleguillos, Practicante
 Universidad Viña del Mar
 Nicol Barriga, Practicante Universidad de Chile
 Gabriela Arcos, Practicante
 Universidad de Santiago de Chile

Equipo Edición de Contenidos:

Patricio Meller, Fundación Chile
 Marcos Kulka, Fundación Chile
 Andrés Pesce, Fundación Chile
 Diego Luna, Fundación Futuro Latinoamericano
 Ulrike Broschek, Fundación Chile
 Claudia Galleguillos, Fundación Chile
 Paola Matus, Fundación Chile
 María José Ramírez, Consultor Fundación Chile
 Débora Gomberoff, Fundación Chile

Fernando González L, Fundación Chile
 María José Gómez, Fundación Chile

Comunicación y Marketing:

Katherine Noack, Fundación Chile
 Macarena León, Fundación Chile
 Loreto Velázquez, Fundación Chile
 Alejandra Rivera, Fundación Chile
 Marietta Barsocchini, Fundación Chile
 Francisca Contreras E, Fundación Chile
 Javiera Alcayaga, Fundación Chile

Edición General:

María Laura Martínez

Diseño y diagramación

Verónica Zurita V.
 Alejandra Romero

EH2030 cuenta con el apoyo del AquaFund, principal fondo de financiamiento temático del BID para agua y saneamiento, creado en el 2008. El AquaFund es financiado con recursos propios del BID y de socios donantes como el Gobierno de Austria, la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), la Fundación PepsiCo y la Cooperación Suiza a través de su Agencia para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y el Secretariado de Estado para Asuntos Económicos (SECO).

Publicación sin fines comerciales. Reservados todos los derechos. Queda autorizada su reproducción y distribución con previa autorización y citando fuente como: "Escenarios Hídricos 2030. (2018). Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile". Fundación Chile, Chile.

Consideraciones:

El presente documento representa una recopilación e integración de información, datos y evidencia sobre el recurso hídrico en Chile, extraídos de diversas fuentes oficiales, otorgados por instituciones, tanto del Estado como privadas, universidades nacionales e internacionales, centros de investigación y estudios de carácter técnico y científico. Dicha base de información fue identificada y levantada según los criterios y metodologías establecidas por el Comité Técnico para el desarrollo de la Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile, la que luego fue analizada por expertos nacionales e internacionales, reconocidos por su trayectoria en las diferentes materias tratadas. En ningún caso el contenido del presente documento representa la opinión particular de las entidades que forman parte de la iniciativa Escenarios Hídricos 2030, quienes han tenido la oportunidad de revisar estos contenidos y, en caso de discrepancias, éstas son descritas en la sección correspondiente.

Resumen extraído de la publicación: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile.

La cartografía de esta publicación utiliza el sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica universal transversal de Mercator (UTM), Datum WGS84, Huso 19S, visualización en coordenadas geográficas. El análisis no considera las zonas insulares ni la Antártica Chilena. La Región de Ñuble no ha sido considerada en el análisis de este documento, dado que su declaración es posterior a los estudios que dan origen a esta publicación.



**EL AGUA
NOS CONVOCA**

PRÓLOGO

El agua cubre el 70% de la superficie del planeta – pero sólo el 2,5% corresponde a agua fresca (ríos, lagos, acuíferos) – y únicamente el 0,62% es apta para el consumo humano, agrícola e industrial. En breve, el agua dulce es un bien muy escaso.

El stress hídrico afecta ya a todos los continentes estimándose las pérdidas, en el año 2014, por causa de la sequía en US\$8.000M y las empresas habrían gastado ese año US\$84.000M para mejorar la forma como se conserva y se obtiene el agua.

Cada persona requiere solamente entre 2 y 5 litros diarios para beber, pero para producir los alimentos que necesita diariamente, se deben emplear entre 3.000 y 5.000 litros de agua. Por esto, la agricultura es el mayor consumidor de agua; a nivel mundial usa alrededor del 70% del agua que se extrae de las diversas fuentes.

Chile tiene una marcada heterogeneidad hídrica. Mientras en la zona norte del país se presenta una menor oferta de aguas para el abastecimiento de las principales actividades que allí se desarrollan, la zona sur dispone de una mayor oferta del recurso hídrico.

Chile aparece dentro de los 30 países con mayor riesgo hídrico en el mundo, al año 2025 (WRI, 2015). De ahí la trascendencia de la iniciativa Escenarios Hídricos 2030, que prioriza el agua como un elemento vital para la vida y el desarrollo, convocando a decenas de entidades y expertos de los distintos ámbitos, público y privado, académicos y profesionales, nacionales e internacionales. Todos reunidos para lograr la sustentabilidad en el uso del recurso hídrico en Chile.

Para poder delinear una “hoja de ruta” se requiere una base de información actualizada sobre la situación del agua en Chile, conocer qué ha pasado en los últimos años y qué podría suceder en los próximos. Esa es la Radiografía del Agua que aquí se presenta.

Por la metodología utilizada, y los indicadores que se muestran, esta Radiografía del Agua entrega una fotografía del estado actual

del recurso y permite acceder a análisis de tendencia histórica, pudiendo así vislumbrar cuáles son los territorios en que la situación se va haciendo más crítica. Cada región es examinada en base a los datos existentes y desde distintos puntos de vista: agua superficial, subterránea, glaciares, calidad del agua y sus diferentes usos, entre otros. Con esa información, se puede visualizar, por un lado, la potencial Brecha Hídrica (diferencia entre la oferta y la demanda de agua), identificando las zonas vulnerables a sufrir escasez de agua y, por otro lado, el Riesgo Hídrico, reconociendo aquí aquellos aspectos que están ocurriendo con el recurso hídrico, relacionados a componentes de déficit, exceso y calidad de agua.

Así esta publicación propone una manera alternativa de mirar el agua, muy distante de la manera tradicional y restringida de analizarlo como derechos de agua y código de agua.

El desarrollo de la Radiografía del Agua busca, entre otros fines, identificar los territorios con potencial falta de agua y posibilidad de sufrir daño social, ambiental y/o económico debido a la cantidad y calidad de agua disponible. Esto generará insumos para la elaboración de propuestas de soluciones concretas costo-efectivas, que permitan alcanzar escenarios hídricos deseados.

Según la Política Nacional para los Recursos Hídricos (2015), la brecha hídrica promedio a nivel nacional es de 82,6 m³/s y aumentará a 149 m³/s al año 2030. Estos valores promedios no permiten identificar en un país que tiene 4.200 Km, la gran heterogeneidad hídrica existente. El análisis de oferta hídrica referencial, descrito en este documento, varía en las cuencas hidrográficas de norte a sur, en rangos que van desde los 0,01 hasta los 3.480 m³/s. Las cuencas de la zona norte, como el río San José, fronterizas Salar Michincha- río Loa, fronterizas salares Atacama- Socompa, río Salado, río Los Choros, costeras entre río Choapa y río Quilimarí, río Quilimarí, son las que presentan los valores más bajos, mientras

que en la región de Aysén se encuentra el caudal superficial más alto.

Por otra parte, el fenómeno de disminución de precipitaciones y aumento de temperaturas se manifiesta en todo Chile; pero esta variación se agudiza desde la zona central del país hacia el sur, y principalmente en las zonas aledañas a la costa.

Los sectores productivos registran demandas de agua diferentes en cada región y además, provenientes de diversas fuentes. Para revisar los consumos específicos de agua de cada sector en las regiones, se proporcionan mapas geográficos nacionales para la huella azul (aguas superficiales y subterráneas) y para la huella verde (precipitaciones).

Respecto a exceso, se buscaron los eventos registrados entre los años 1912 y 2017, donde destacan las inundaciones a nivel nacional como el tipo de evento que genera desastres, concentrando el norte mayor número de eventos que el sur Chile.

Por otro lado, se observa que en el norte, centro-norte y extremo sur del país, se registraron mayores eventos de inundaciones y aluviones en el siglo XX, mientras que en los años transcurridos del siglo XXI la zona centro-sur y sur del país, registraron mayores eventos de inundaciones y aluviones.

El Índice de Calidad de Aguas Superficiales que indica si la calidad de agua disponible en las cuencas es apta para los diferentes usos o es una condición limitante para el desarrollo, muestra que las regiones del norte, principalmente Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta se caracterizan por poseer una tendencia generalizada a una calidad insuficiente para diferentes usos. En general, en las regiones de la zona central, el periodo 2011-2016 presenta una mejoría respecto al quinquenio previo. Las excepciones están en la región de Valparaíso (en verano) y en la Metropolitana (en otoño) que registran una calidad insuficiente del agua. La zona desde el Maule hasta Magallanes presenta una dominancia de buena calidad en el periodo 2006-2011,

pasando a una calidad excelente en el 2011-2016.

Los antecedentes que entregan los indicadores de riesgo hídrico en la Radiografía del Agua, manifiestan que Chile ha venido transitando por una sequía meteorológica, la cual se ha acentuado en los últimos años, por la disminución de precipitaciones y el aumento en la sequedad del aire por incremento en la temperatura, lo cual en la zona entre Maule y el resto de la zona sur del país, incluida la zona de Magallanes, ha aumentado el consumo de agua por parte de la cobertura vegetal. Otros estudios corroboran esta información, proyectando disminuciones en la precipitación (cuencas centrales y del norte) que podrían alcanzar entre el 30 y 40% (McPhee *et al.*, 2012) y del 5 a 15% hacia mediados del siglo XXI (MMA, 2014).

Por otro lado, el análisis de las principales reservas de aguas subterráneas muestran una tendencia significativa a la disminución en los niveles de pozos, reduciendo el almacenamiento subterráneo en las cuencas, principalmente en la zona centro- norte del país. Respecto de los glaciares, hay un retroceso glaciar o pérdida de masa en las zonas norte, centro y sur.

El Foro Económico Mundial plantea que los riesgos de mayor significancia en el futuro serán la incapacidad de adaptarnos y mitigar el cambio climático, las armas de destrucción masiva y la crisis hídrica. Actualmente, hay una brecha hídrica creciente en Chile que generará serios déficits de disponibilidad de agua en muchos lugares poblados; por otra parte los eventos de riesgo hídrico serán reiterados y severos causando muertes y daños económicos de gran magnitud. ¿Se seguirá omitiendo la crisis del agua de los problemas prioritarios del país?



Patricio Meller
Presidente
Fundación Chile

EL AGUA SE FILTRA EN LA AGENDA GLOBAL

Cerca de 1.200 millones de personas viven en áreas donde existe escasez hídrica (FAO, 2007). Se prevé que en 2030, el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua, en un escenario climático en que todo sigue igual (Earthscan, 2007).

Dentro de la escala de “desastres” ocasionados por el clima, las tormentas e inundaciones predominan con un 79%, causando un 55% de las muertes y un 86% de las pérdidas económicas. La sequía representa el 35%, pero va en una tendencia creciente¹.

En el 2015, se alcanzaron registros récords de temperaturas, precipitaciones y sequías, continuando en 2016 con esa tendencia¹.

La sequía ha provocado pérdidas a nivel mundial que llegarían a los US\$8.000 millones² y se estima que las empresas han gastado US\$84.000 millones para mejorar la forma cómo se conserva, se administra o se obtiene el agua³.

Esta situación agudizada con el crecimiento demográfico y el aumento de demanda por actividades económicas, ha centrado el

desafío en la gestión actual y futura de las intervenciones del recurso hídrico donde el Foro Económico Mundial asevera que “simplemente no podemos manejar el agua en el futuro como lo hemos hecho hasta ahora, o la red económica colapsará”⁴.

ESCENARIOS HÍDRICOS 2030: INICIATIVA EN DESARROLLO

Sometidos a los vaivenes del cambio climático, la sequía se ha hecho presente en distintas zonas del territorio nacional. Basta mirar unos años atrás para encontrarse con que, a marzo de 2015, un total de 194 comunas en el país (56% del total) habían sido decretadas en emergencia agrícola por sequía.

Mientras el desierto avanza y zonas que antes tuvieron agua en abundancia empiezan a manifestar carencias, surge la incertidumbre respecto al suministro futuro.

En este contexto nace la iniciativa “Escenarios Hídricos 2030”, enfocada en una tarea que se vuelve necesaria y urgente: construir colectivamente diferentes escenarios hídricos al 2030 y 2050, que movilicen soluciones conducentes a dar seguridad y sustentabilidad al uso del recurso.

1. Organización Meteorológica Mundial (2016). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2015. OMM N° 1167. Disponible en URL: <https://public.wmo.int/es/resources/library/declaraci%C3%B3n-de-la-omm-sobre-el-estado-del-clima-mundial-en-2015>

2. El informe ‘Insurance Risk Study’, que anualmente elabora AON BENFIELD sobre riesgos para el mercado asegurador y reasegurador bajo el nombre Global Insurance Market Opportunities, ha identificado, en la edición 2015, siete oportunidades de negocio que considera claves para las aseguradoras en los próximos 5 y 10 años. Entre ellas se establece el incremento de la sequía.

3. Global Water Intelligence, informes regulatorios y entrevistas del FT.

4. Martínez, P. (2016). La Seguridad Hídrica. En Fundación Chile. (Ed.), Desafíos del Agua para la Región Latinoamericana (pp. 48-59). Santiago, Chile.

La iniciativa pretende ser un aporte a la discusión nacional, orientando a los tomadores de decisión para designar recursos, atención y energía emprendedora para las soluciones. La idea es que -como resultado- se logre contribuir a mejorar tanto la regulación como la gestión de intervenciones y políticas hídricas en general. Esto, además de la priorización del tema en la agenda, inversión privada, innovación, capital de riesgo y mejores prácticas. En suma, se trata de promover una cultura de agua, donde se comience el diseño e implementación de soluciones sistémicas multipropósito, que resulten efectivas, coordinadas y costo eficientes.

1. CONSTRUCCIÓN COLECTIVA

En el proceso se busca integrar distintas miradas, públicas, privadas, académicas y ciudadanas; reconociendo y validando a los actores de un territorio. Bajo estos lineamientos, la Etapa 1 de "Escenarios Hídricos 2030" construyó su gobernanza coordinada por Fundación Futuro Latinoamericano (FFLA), Fundación AVINA y Fundación Chile (FCh). Concluida la Etapa 1, se inició el trabajo para elaborar la presente "Radiografía del Agua", integrando estudios, información y datos puestos a disposición por las entidades participantes, siendo el punto de partida clave que permite generar análisis y proyecciones sobre el recurso hídrico en el territorio nacional. Con este insumo se seleccionaron seis cuencas piloto donde profundizar el análisis para el desarrollo de hojas de ruta con soluciones priorizadas al año 2030 y 2050.

Participan más de 40 instituciones representadas en los distintos Comités, quienes aportan con sus conocimientos y visiones a la iniciativa en sus diversas etapas.



2. RADIOGRAFÍA DEL AGUA: QUÉ ES Y QUÉ NO ES

¿QUÉ ES LA RADIOGRAFÍA DEL AGUA?

Es un levantamiento de indicadores en el territorio, que dan cuenta de la situación actual y tendencia en el tiempo del recurso hídrico en Chile.

El énfasis del análisis está en conocer dos aspectos:

Brecha hídrica

Indicador que muestra la relación entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes de abastecimiento⁵.

Riesgo hídrico

Se entiende como la posibilidad de que ocurra un daño social, ambiental y/o económico en un territorio y periodo de tiempo determinado, derivado de la cantidad y la calidad de agua disponible para su uso.

“PARA QUÉ” SE VA A UTILIZAR



- **Permitirá concientizar a los diferentes sectores y la ciudadanía en general sobre la situación del agua en Chile** y así contribuir a mejorar la información para avanzar con mayor urgencia en la implementación de soluciones.



- **Diferenciará los territorios** donde es necesario avanzar en el corto, mediano y largo plazo.



- **Alertará a los sectores productivos** respecto de factores críticos que pueden poner en riesgo su sustentabilidad.



- **Marca el inicio** de la construcción de hojas de ruta (2019) en Escenarios Hídricos 2030.

QUÉ NO ES

1. No es un diagnóstico⁶ de la situación actual del recurso hídrico en Chile.
2. No pretende ser un balance hídrico nacional.

5. Rivera, H. et al. (2004). Metodología para el cálculo del índice de Escasez de Agua Superficial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales ideam. Bogotá. Colombia.

6. Entendiéndose por diagnóstico como la comparación entre una situación actual y una situación deseada, junto a la identificación de causas que impiden alcanzar dicho estado deseado (Axel Dourojeanni).

METODOLOGÍA: LA COMPLEJIDAD DE “MEDIR” EL AGUA

1. BRECHA HÍDRICA

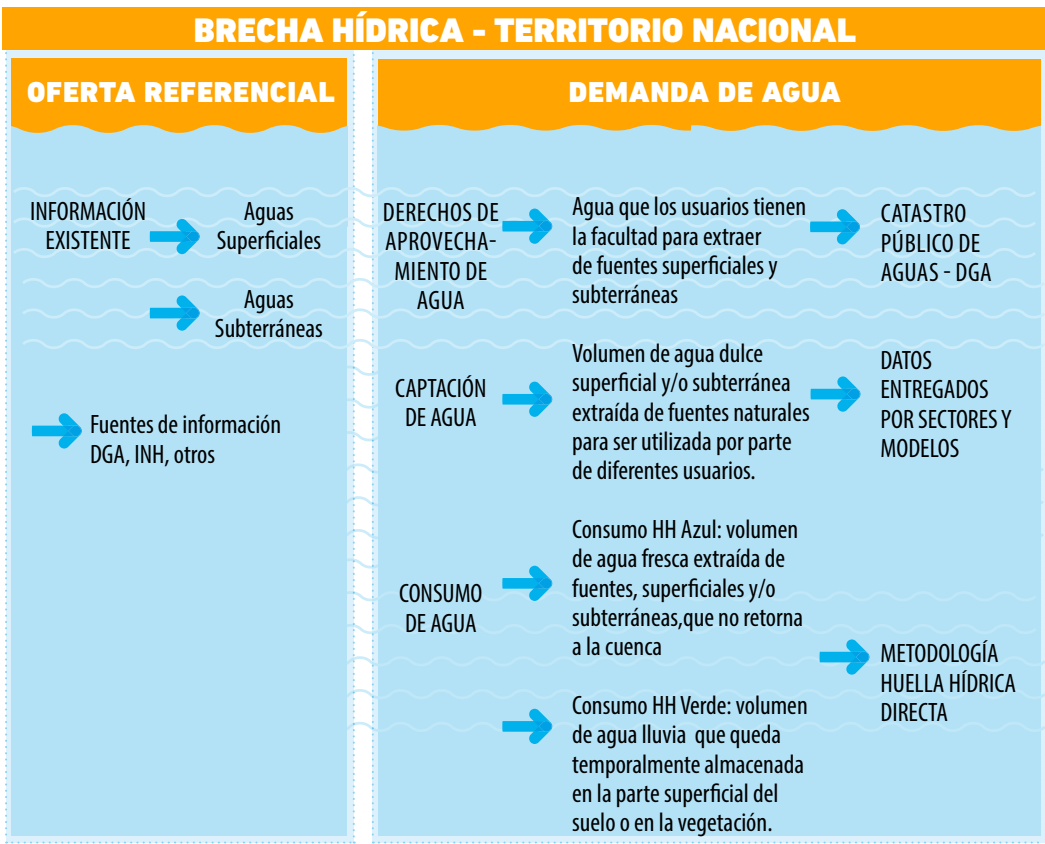
Es la evaluación de la relación oferta/ demanda de agua, conocida a nivel internacional como índice de escasez hídrica, avalada por parte de organizaciones internacionales referentes (OMM, UNESCO, etc) para su aplicación aún en aquellos lugares donde se posee escasa información. Los umbrales críticos establecidos para el indicador consideran

Índice Brecha hídrica	Porcentaje oferta hídrica utilizada	Color
ALTO	> 40 %	Rojo
MEDIO	20 – 40%	Naranja
MODERADO	10 – 20%	Verde
BAJO	<10%	Azul

Fuente: Rivera et al., 2004

las distintas necesidades (humanas, de ecosistemas, actividad productiva y demandas potenciales)⁷. A partir de los análisis de oferta referencial y consumo, la metodología se aplicó identificando cuencas con potencial brecha hídrica a nivel nacional.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CAPAS



7. OMM. (1997). Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo. Nueva York. EEUU.33 p.

Oferta Hídrica Referencial

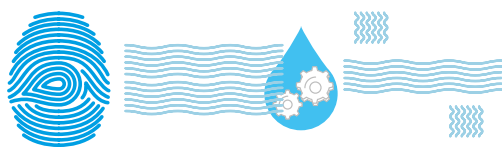
Se define como aquella porción de agua que, después de precipitar sobre la cuenca y satisfacer las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal, escurre por los cauces de los ríos y demás corrientes superficiales; en tanto que la oferta de agua subterránea es aquella que queda almacenada, o se desliza, cuando el agua de lluvia, o la que proviene de ríos o lagos, llega hasta las capas impermeables de la tierra, luego de atravesar las permeables.

Demanda Hídrica

La demanda del conjunto de actividades socioeconómica es estimada con tres conceptos: derechos de aprovechamiento de aguas (DAA), captación de aguas y consumo de aguas, cada uno con su metodología de análisis particular. Siete sectores productivos del país fueron incluidos en el análisis: agrícola, minero, agua y saneamiento (doméstico), industrial, forestal, energía y pecuario.

El consumo y captación de agua se determinó en base a la metodología de Huella Hídrica azul y verde directa⁸.

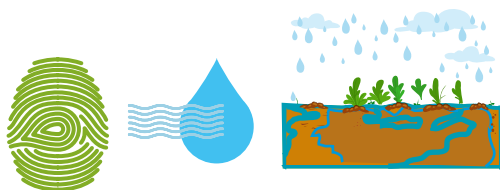
HUELLA HÍDRICA AZUL



La HH azul se refiere al volumen de agua fresca que se extrae de fuentes superficiales y/o subterráneas y que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Este “no retorno” puede ocurrir por:

- 1) Evaporación o evapotranspiración de agua.
- 2) Incorporación de agua en el producto.
- 3) Agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se vierte al mar, y
- 4) Retención de agua en el suelo.

HUELLA HÍDRICA VERDE



La HH verde se refiere al volumen de agua lluvia que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación. Se evalúa generalmente para procesos que aprovechan esta fuente (agua lluvia) para el riego; por ejemplo, productos agrícolas y forestales.

Nota:

“Para efectos de este análisis, no se considera la Huella Hídrica Gris”.

Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018.

8. Huella Hídrica directa: volumen de agua fresca extraída por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo y que no considera el agua virtual (HH Indirecta).

2. RIESGO HÍDRICO

El concepto de riesgo hídrico a nivel internacional se ha definido como:

RIESGO = AMENAZA x VULNERABILIDAD

Para efectos de la iniciativa EH2030, se entenderá por Riesgo hídrico a la posibilidad de que ocurra un daño económico, social y/o ambiental en un territorio y periodo de tiempo determinado, derivado de la cantidad y la calidad de agua disponible para su uso. Para efectos del alcance de esta Radiografía del Agua, el análisis de Riesgo hídrico se ha centrado en la evaluación de amenaza, considerando como principales componentes los siguientes factores:

- Déficit hídrico
- Exceso de agua
- Calidad del agua

Déficit Hídrico

Se presenta cuando la demanda de agua supera la oferta, sin estar necesariamente asociado a un daño actual, pero que se puede manifestar en el futuro. Cuando hay daño asociado al déficit, se habla de sequía mientras que en ausencia de daño, no hay sequía, aunque se registre un déficit.

El análisis de tendencia de Déficit Hídrico fue determinado mediante cuatro componentes: Indicador de sequía meteorológica (SPEI), variación en niveles de pozos, caudales superficiales y glaciares.

El SPEI corresponde a un indicador de sequía meteorológica, basado principalmente en datos satelitales de precipitación y temperatura. Por otro lado, para el análisis de tendencia en los niveles de pozos en

RIESGO HÍDRICO - TERRITORIO NACIONAL



aguas subterráneas y caudales superficiales, se usaron datos de las estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas.

El análisis de glaciares consistió en la revisión y síntesis de documentos existentes relacionados con el estado de los glaciares en nuestro país, incluyendo estudios de balance de masa y variaciones de superficie (areal y frontal)⁹.

Exceso de Agua

Exceso considera la probabilidad de que existan desastres tanto de origen geológico, hidrometeorológico o climático; que exponen a su población, infraestructura y sistemas a sufrir importantes pérdidas, tanto en términos de vidas humanas, económicas, medioambientales y sociales. Se levantaron desastres asociados a inundaciones, aluviones y tsunamis a partir de la plataforma de información “LA RED” (2009), información de SERNAGEOMIN y registros en medios de prensa escrita.

Calidad de Agua

Se desarrolló un Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS) que permite determinar la calidad disponible en las cuencas para diferentes usos, clasificados como **Excepcional**: uso para protección de vida acuática y de ecosistemas que no afectan la salud humana y cumplen con criterios de aceptabilidad del agua potable; **Buena**: adecuadas para uso en riego y desarrollo de la acuicultura;

Regular: aguas aptas para uso recreativo, consumo animal y riego con restricciones; e **Insuficiente**: aguas no aptas para la conservación de ecosistemas acuáticos, ni para el aprovechamiento en usos prioritarios sin un tratamiento previo.

SITUACIÓN DEL AGUA EN CHILE

Chile estuvo entre los 10 países con mayor gasto asociado a desastres en el 2015, llegando a US\$ 3.100 MM; de ese monto, más del 45% se destinó a cubrir situaciones de escasez hídrica (Informe ONU, 2016). Según antecedentes entregados en la Política Nacional para los Recursos Hídricos (2015), Chile posee actualmente una brecha de agua de 82,6 m³/s que al año 2030 aumentará a 149 m³/s, estimada al comparar la disponibilidad de agua con las proyecciones de crecimiento económico e infraestructura prevista a construir.

BRECHA HÍDRICA NACIONAL:

Heterogeneidad en la oferta hídrica

De acuerdo al análisis de oferta referencial desarrollado, que utiliza los estudios y datos oficiales de mayor actualización existentes al año 2016, se observa que el agua disponible en las diferentes cuencas hidrográficas nacionales varía y presenta una heterogeneidad importante, tal como se ha establecido en otros reportes¹⁰.

9. Dirección General de Aguas (DGA). (2011). Variaciones recientes de glaciares en Chile, según principales zonas glaciológicas. DGA. Santiago. Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/GLA5360.pdf>

10. Atlas del Agua, Chile (DGA, 2016), Política Nacional de Recursos Hídricos (Ministerio del Interior, 2015) y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012- 2025 (MOP, 2013), Diagnóstico Recursos Hídricos en Chile (Banco Mundial, 2011).

La disponibilidad del recurso aumenta conforme se avanza desde el norte hacia el sur del país, en un rango que varía entre 0,01 en la zona norte y 3.480 m³/s en cuencas de la zona austral. De acuerdo con las variaciones de oferta, se pueden distinguir las siguientes situaciones:

Zona norte

En la zona norte, las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo presentan los valores más bajos de oferta superficial y subterránea del país, donde destacan las cuencas de los ríos San José, fronterizas Salar Michincha- río Loa, fronterizas salares Atacama- Socompa, río Salado, río Los Choros, costeras entre río Choapa y río Quilimarí, río Quilimarí, con los valores más bajos en torno a 0,01 y 1 m³/s.

En tanto, los valores más altos de la zona norte están en las cuencas altiplánicas, del río Huasco, río Elqui y río Limarí, con ofertas referenciales cercanas a los 10 m³/s. En esta zona cabe destacar a la región de Antofagasta, debido a sus importantes superficies sin información respecto de la disponibilidad del recurso subterráneo.

Zona centro

Entre las regiones de Valparaíso y el Maule, las ofertas referenciales en las cuencas alcanzan como máximo 361 m³/s. Este valor más alto se presenta en la cuenca del río Itata. Las cuencas del río Maipo, río Rapel, río Mataquito y río Maule, le siguen en las ofertas referenciales, teniendo valores cercanos a ese máximo (entre 203 y 301 m³/s).

Los valores más bajos de oferta determinados en la zona centro, pertenecen a las cuencas costeras. Sin embargo, éstas fueron

analizadas a partir del Balance Nacional (DGA, 1987), requiriéndose aquí un informe más actualizado, que además integre la oferta subterránea actualmente inexistente. Se excluye del análisis a las zonas insulares.

Zona sur

En la zona sur del país, solamente se contó con lo señalado en el Balance Nacional del año 1987 (a excepción de la cuenca del río Biobío) careciendo de un estudio actualizado que incluya la oferta subterránea, lo que se requiere desarrollar para mejorar el análisis.

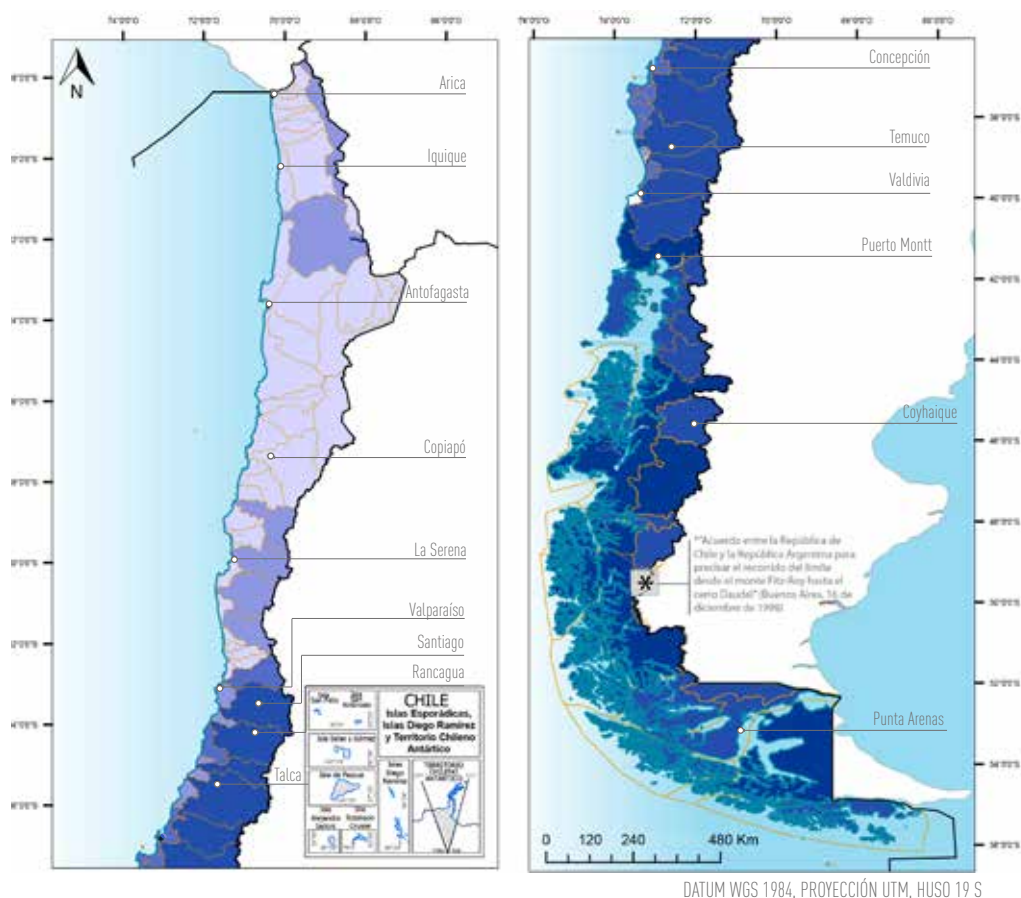
De acuerdo a la información encontrada, entre la región de Biobío y Los Lagos, las ofertas referenciales en las cuencas alcanzan 1.064 m³/s. Se destacan las cuencas del río Biobío, río Valdivia, río Bueno, las cuencas e islas entre río Bueno y río Puelo, costeras, entre río Puelo y río Yelcho, río Yelcho, islas de Chiloé e islas circundantes, las que presentan las ofertas referenciales más altas, variando entre 699 y 1.064 m³/s.

Zona austral

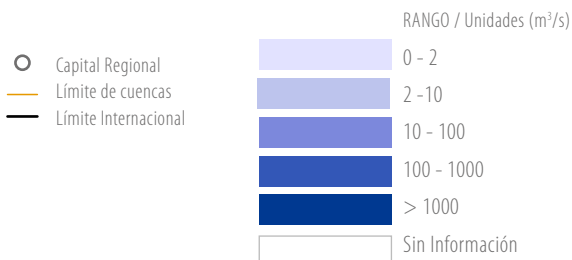
Según la información recopilada hasta el año 2016, en la zona austral -al igual que en la zona sur- el análisis de oferta referencial en las cuencas se basa en la información de oferta referencial superficial encontrada en el Balance Nacional del año 1987.

De acuerdo a la información encontrada, en las regiones de Aysén y Magallanes, las ofertas referenciales máximas alcanzan los 3.480 m³/s. Destacan las cuencas costeras e islas entre los ríos Aysén y Baker y el canal General Martínez y costeras entre seno Andrew y río Hollenberg e islas al oriente. Se excluye el análisis en la Antártica Chilena.

OFERTA REFERENCIAL DE AGUAS SUPERFICIALES

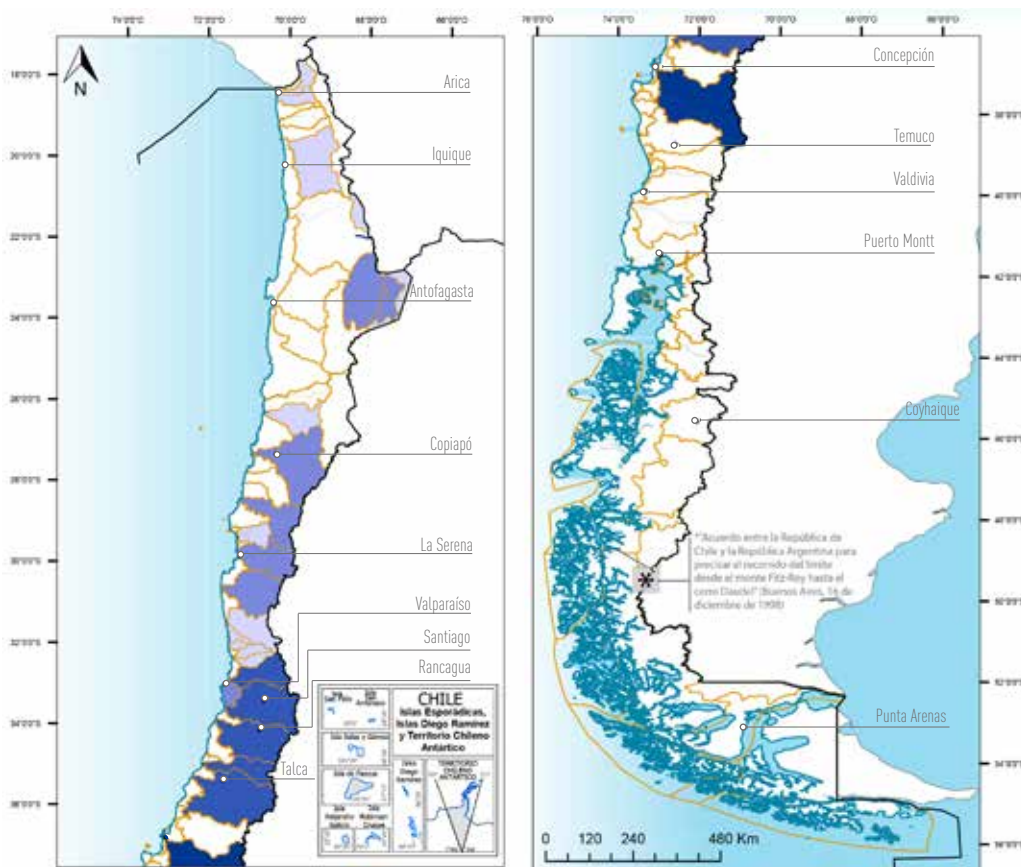


Oferta Total Cuencas

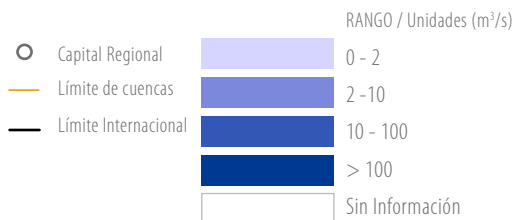


Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018.

OFERTA REFERENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



Oferta subterránea



Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018.

Demanda: las huellas que deja el agua

El centro-sur del país lidera el consumo y captación de aguas, el que baja notoriamente hacia los extremos del territorio nacional, de acuerdo al estudio cuantitativo de Huella Hídrica azul y verde, aplicado a cada uno de los sectores productivos.

Cuando se analizan los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) consuntivos permanentes, registrados en el Catastro

Público de Aguas de la DGA y actualizados a diciembre del año 2017, el comportamiento es similar. Las cuencas hidrográficas con mayores DAA otorgados y registrados son el río Aconcagua, río Maipo, río Maule y río Imperial, con 213, 310, 257 y 309 m³/s, respectivamente (considera DAA volumétricos y excluye los derechos otorgados como acciones). Bajo las mismas consideraciones, las cuencas con mayor número de acciones son las de los ríos Maipo, Maule y Biobío, con 45.759, 43.487 y 23.154 acciones, respectivamente.

DEMANDA DE AGUA DISTRIBUIDA POR REGIONES

Región	Derechos de Agua (DAA)(consuntivos permanentes registrados en CPA)			Captación ⁴ [m³/s]	Devolución ⁵ [m³/s]	Consumo	
	DAA [m³/s] ¹	Coefficiente ² DAA/ captación	Acciones ³ [N°]			HH Azul ⁶ [m³/s]	HH Verde ⁷ [m³/s]
Arica y Parinacota	16,73	3,90	35.541	4,29	1,92	2,37	0,06
Tarapacá	14,38	4,70	7.926	3,06	1,14	1,92	0,05
Antofagasta	26,25	3,51	-	7,47	1,75	5,72	0,01
Atacama	35,00	4,09	5.894	8,55	3,33	5,23	0,09
Coquimbo	209,52	5,71	21.893	36,68	14,72	21,96	0,95
Valparaíso	476,82	10,57	6.480	45,28	19,34	25,94	5,16
Metropolitana	528,58	5,43	2.612	102,63	66,52	36,11	4,34
Libertador General Bernardo O'Higgins	319,71	3,21	54.111	168,54	122,15	46,39	15,76
Maule	318,39	2,48	44.630	549,10	499,03	50,07	99,37
Biobío	330,39	8,74	25.286	579,87	567,52	12,35	143,09
Araucanía	457,88	39,69	5.192	265,31	261,81	3,50	103,82
Los Ríos	112,77	48,62	-	2,32	1,97	0,35	41,74
Los Lagos	229,95	93,62	-	51,17	50,03	1,14	22,00
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	167,27	251,57	349	0,66	0,51	0,15	0,63
Magallanes y la Antártica Chilena	91,79	117,87	-	0,78	0,24	0,53	0,26
Total País	3.335,44	6,86	209.914	1.825,71	1.611,98	213,73	437,34

Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018

1. DAA: derechos de aprovechamiento de aguas expresados, en el Catastro Público de Aguas, en unidades de volumen por unidad de tiempo.

2. Coeficiente DAA/captación: cálculo realizado para expresar la proporción entre los DAA otorgados y la captación actual de aguas (no incluye los DAA expresados como Acciones).

3. Acciones: derechos de aprovechamiento de aguas expresados en el Catastro Público de Aguas como acciones.

4. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por parte de diferentes usuarios.

5. Devolución: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es retornada al sistema natural. Calculada como la diferencia entre Captación y HH Azul.

6. Consumo HH Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrae. Puede ocurrir por: 1) evaporación o evapotranspiración del agua, 2) incorporación del agua en el producto, 3) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar.

7. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

Al comparar, a nivel nacional, la captación de agua desde fuentes superficiales y subterráneas con el consumo (Huella Hídrica azul), se observa que la mitad del agua extraída (captación) desde el sistema regresa a éste (devolución), pudiendo ser reutilizada, mientras que la otra mitad se consume debido a que: se evapora, se evapotranspira, se incorpora en los productos generados por las actividades productivas, es trasladada a un lugar distinto de donde se extrajo o es descargada al mar.

En el norte de Chile el mayor consumo de agua proviene de fuentes superficiales y/o subterráneas (Huella azul), mostrando una alta dependencia a esta fuente de agua. Hacia

el sur, cuando el análisis se focaliza en las Huellas Hídricas verdes, la dependencia de las aguas de precipitaciones aumenta. Esto es relevante, ya que una variación en las precipitaciones, además de tener un efecto en la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, puede afectar a aquellas actividades que actualmente dependen de las aguas lluvias.

Las regiones que poseen mayor consumo y dependencia de Huella Hídrica verde son Biobío, Araucanía y Maule. Las regiones con mayor consumo de Huella azul son Maule, Libertador General Bernardo O'Higgins y Metropolitana.

DEMANDA DE AGUA DISTRIBUIDA POR USOS

USO	Derechos de Agua (DDA)(consuntivos permanentes registrados en CPA)			Captación ⁴ [m³/s]	Devolución ⁵ [m³/s]	Consumo	
	DDA [m³/s] ¹	Coefficiente ² DAA/ captación	Acciones ³ [Nº]			HH Azul ⁶ [m³/s]	HH Verde ⁷ [m³/s]
Agrícola (Riego)	1.184,01	2,93	44.676	404,53	217,69	186,84	53,33
Minero	24,95	2,46	-	10,16	0,02	10,14	-
Agua y Saneamiento	1.92,78	3,49	270	55,29	41,98	13,30	-
Industrial	16,81	1,30	-	12,93	11,74	1,19	-
Forestal ⁸	No aplica (N/A)	N/A	N/A	-	-	-	384,01
Energía ⁹	3,64	N/A	-	1.339,62	1.338,29	1,33	-
Pecuario	-	-	-	3,19	2,27	0,92	-
Otros Usos/No especificado	1.913,24	-	164.968	-	-	-	-
Total	3.335,44	6,86	209.914	1.825,71	1.611,98	213,73	437,34

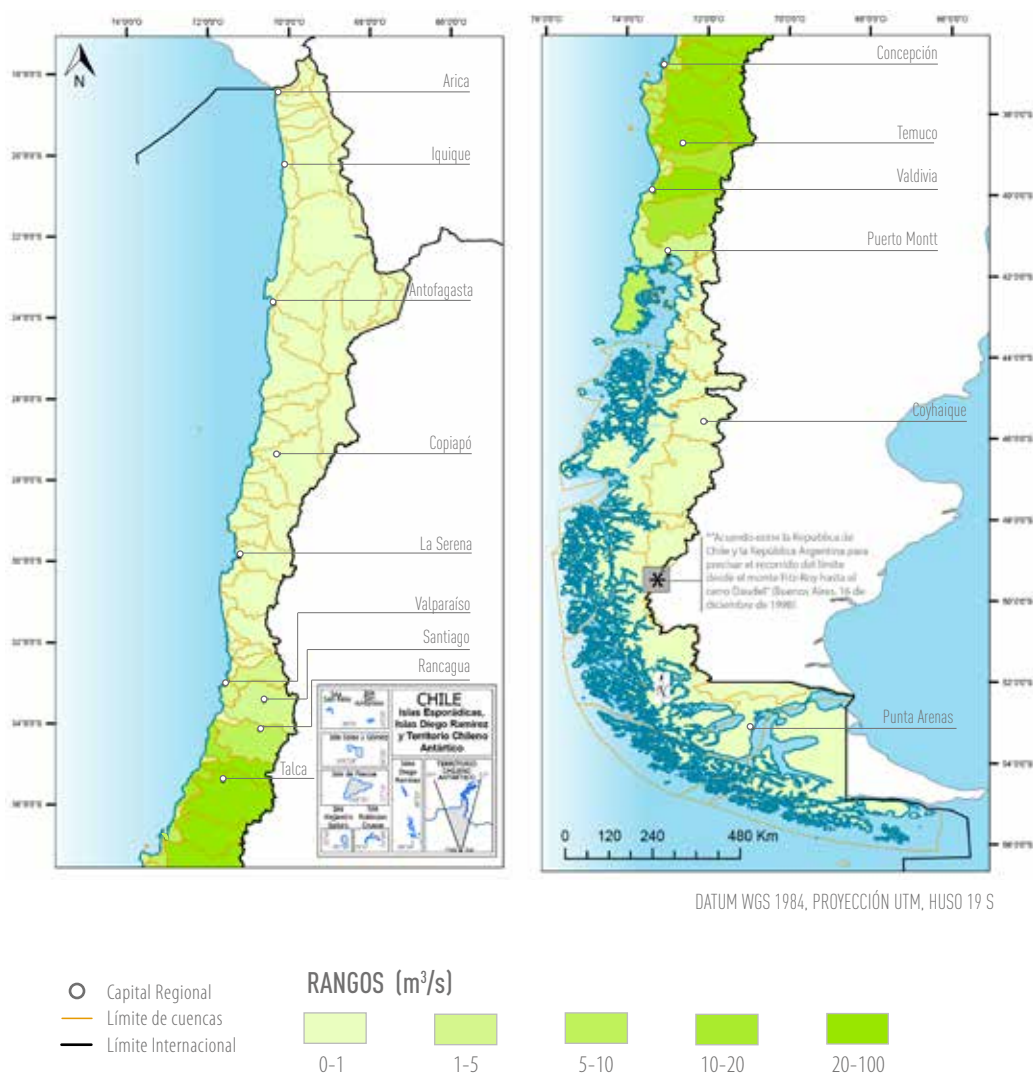
Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018

1. DAA: derechos de aprovechamiento de aguas expresados, en el Catastro Público de Aguas, en unidades de volumen por unidad de tiempo.
2. Coeficiente DAA/captación: cálculo realizado para expresar la proporción entre los DAA otorgados y la captación actual de aguas (no incluye los DAA expresados como Acciones).
3. Acciones: derechos de aprovechamiento de aguas expresados en el Catastro Público de Aguas como acciones.
4. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por parte de diferentes usuarios.
5. Devolución: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es retornada al sistema natural. Calculada como la diferencia entre Captación y HH Azul.
6. Consumo HH Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: 1) evaporación o evapotranspiración del agua, 2) incorporación del agua en el producto, 3) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar.
7. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.
8. Sector Forestal consume agua lluvia (HH Verde) por lo que no registra DAA, Captación, Devolución y HH Azul.
9. Sector Energía no se considera en el cálculo de Coeficiente DAA/captación, debido a que sus derechos y usos de agua son mayoritariamente no consuntivos.

[illegible]

18 / RESUMEN RADIOGRAFIA DEL AGUA

Volumen de agua lluvia que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.



Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018.

Análisis de brecha: Cuencas bajo presión

Oferta versus consumo

Cabe señalar que el análisis de brecha hídrica sólo fue aplicada en 25 de un total de 101 cuencas hidrográficas existentes a nivel nacional, dejando fuera un 75% de ellas. Las zonas que carecen de información de oferta de aguas subterráneas fueron excluidas del análisis¹¹. Estas cuencas se encuentran, según el análisis de oferta referencial de agua, principalmente en la zona norte, donde se destaca la región de Antofagasta, y en la zona sur y austral, desde la región de la Araucanía hasta la región de Magallanes y Antártica Chilena.

Cuando se analiza y compara la relación entre oferta referencial y consumo de agua (en las cuencas hidrográficas donde existe suficiente información para realizar el análisis), se presentan situaciones heterogéneas, sin una tendencia o comportamiento mayoritario hacia una condición u otra.

Cabe señalar que, si solamente se aplicara la metodología de análisis con aguas superficiales, reportada en diversos estudios internacionales¹², la totalidad de las cuencas hidrográficas ubicadas al sur del río Rapel quedarían clasificadas con una brecha baja, por lo que esta zona, de acuerdo al indicador y la información utilizada, no estaría experimentando presiones importantes sobre el recurso hídrico.

Cuando se analiza en el territorio la demanda de agua de los diferentes sectores, se puede apreciar que los sectores agrícola y energético (específicamente la hidroelectricidad), presentan la mayor vulnerabilidad para sostener su actual producción, debido a la limitada oferta referencial de agua. Las cuencas con mayor criticidad para el sector agrícola, en orden decreciente, se indican a continuación:

- Río Los Choros
- Río Ligua
- Río Limarí
- Río Petorca
- Río San José



Otras cuencas vulnerables para el sector, aunque en menor grado en comparación a las anteriores, son:

- Río Copiapó
- Río Quilimarí
- Río Elqui
- Río Aconcagua
- Río Choapa
- Río Lluta



Para el sector hidroeléctrico las cuencas donde podría existir déficit de agua, para sostener la actual demanda, son:

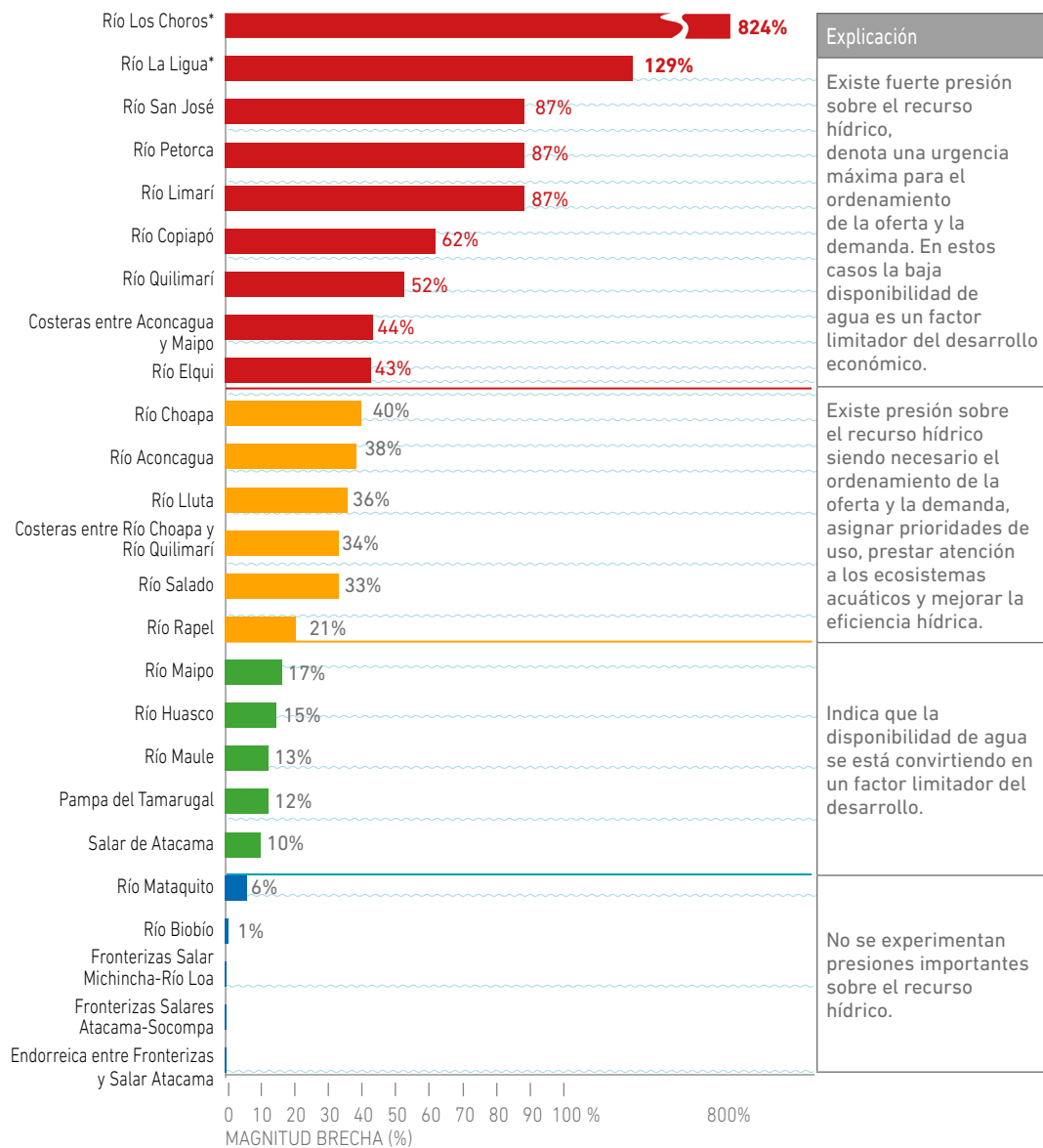
- Río Maule
- Río Biobío.



11. Para el análisis de brecha hídrica el Comité Técnico consideró, para mayor representatividad y ajuste a la realidad nacional, la oferta de agua tanto superficial como subterránea.

12. Rivera, H. et al. (2004). Metodología para el cálculo del índice de Escasez de Agua Superficial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales ideam. Bogotá. Colombia.

BRECHA HÍDRICA EN CUENCAS ANALIZADAS



*Río la Ligua y Río los Choros poseen un consumo mayor a la oferta de la cuenca, al superar el umbral del 100%.

Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018 con metodologías y clasificación según OMM, 1997 y Rivera et al., 2004.

Las demandas de agua de los sectores minero, agua y saneamiento, pecuario e industrial son reducidos en comparación a la oferta hídrica referencial reportada para las cuencas hidrográficas donde estas actividades se emplazan, excluyendo la región de Antofagasta donde por ausencia de información no se pudo hacer el análisis.

Las cuencas donde podría existir criticidad considerando una competencia por el uso del recurso en el sector minero y doméstico, son:

- **Minería:** ríos Los Choros, Salado y Copiapó.

- **Agua y Saneamiento:** ríos Los Choros, San José y cuencas costeras entre Aconcagua y Maipo.

RIESGO HÍDRICO NACIONAL: ALERTAS SOBRE EL AGUA

Déficit hídrico: se acentúa la sequía

Cuando se trata de evaluar los recursos hídricos y su disponibilidad futura, en un país con una gran heterogeneidad, el Déficit hídrico y su tendencia en el tiempo adquiere gran relevancia.

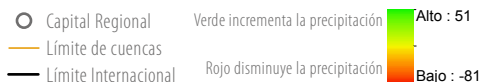
a) Índice SPEI: menos precipitación y más evapotranspiración

La zona desde Copiapó a Los Vilos presenta el déficit hídrico más grande en magnitud, dado posiblemente por una condición de déficit estructural de ese territorio, acostumbrado a sequías prolongadas. De Los Vilos hasta Aysén se registra una extensa sequía meteorológica, destacándose algunas cuencas de las regiones del Maule, Biobío, Araucanía y Los Ríos.

VARIACIÓN DE PRECIPITACIONES (2000-2014)



DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S



Los resultados del déficit, analizado desde la perspectiva del consumo hídrico y evaluado a través de la evapotranspiración (ET) real, nos indican que las cuencas de la zona entre Copiapó y O'Higgins no manifiestan un déficit hídrico real, aludiendo posiblemente al abundante uso de agricultura de riego, lo que involucra otras fuentes de recursos hídricos además de la precipitación directa. El resto del país presenta un patrón similar de déficit hídrico, estimado por el potencial de la atmósfera (ET potencial).

Las precipitaciones disminuyen en todo el país, a excepción del altiplano, presentándose cambios significativos entre las regiones de Atacama y Los Lagos.

b) Indicador de déficit en aguas subterráneas: ¿Qué pasa bajo tierra?

Las aguas subterráneas son una de las mayores reservas mundiales del recurso, abasteciendo a una gran parte de la población mundial. Este invisible, pero crítico recurso es uno de los menos conocidos y estudiados.

El estudio de las aguas subterráneas desarrollado por especialistas del CAZALAC y UNESCO buscó evaluar el riesgo de déficit de estas fuentes de agua. De acuerdo a los criterios establecidos para la selección de los datos y el análisis de tendencia realizado a través de la metodología descrita anteriormente, sólo 145 de un total de 1.094 estaciones pudieron ser consideradas, dejando fuera el 87% de las estaciones debido, principalmente, a la escasez de datos y la baja frecuencia de medición. 101 de los 145 pozos analizados muestran una tendencia negativa significativa en sus niveles.

Con el objetivo de desarrollar un análisis de tendencia robusto para las aguas subterráneas a lo largo de todo el país, se hace indispensable incrementar la frecuencia de las mediciones en las estaciones de monitoreo descartadas.

TENDENCIA POST 2000		Nº DE POZOS
CATEGORÍA	● Positiva, significativa	→ 9
	● Positiva, no significativa	→ 20
	● Negativa, no significativa	→ 15
	● Negativa, significativa	→ 101
	○ Sin información	→ 949

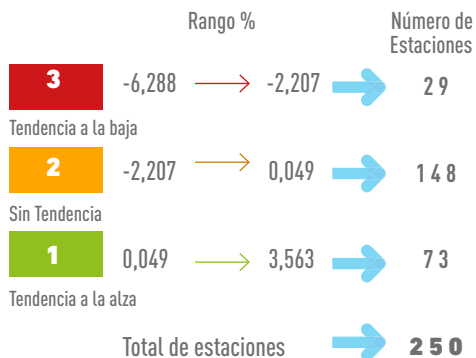
Nota: Pozos en rojo. Aguas subterráneas que eventualmente se van a agotar.

c) Tendencia a mantener los caudales

Las aguas superficiales continentales son las que corren por la superficie del suelo y que, en general, se originan producto de precipitaciones de agua lluvia y nieve en las cuencas.

Si se separa el país en tres zonas: norte, centro y sur, se puede mencionar que en el norte no hay estaciones con tendencia a la baja de caudales (color rojo), y se registra una proporción relativamente similar de estaciones con tendencia al alza (color verde) y dos estaciones sin tendencia a aumento o baja de caudal (color amarillo). En la zona central, se encuentran estaciones con los tres niveles de categorización, donde se destaca que las estaciones con disminución de caudal se extienden sólo

CLASIFICACIÓN DE TENDENCIA DE CAUDALES Y NÚMERO DE ESTACIONES



hasta la región del Maule. En la zona sur ocurre algo similar a la zona norte, donde existen estaciones con tendencia al alza (categorización 1) y sin tendencia a aumento o baja de caudal (categorización 2), aunque mayoritariamente con aumento de caudales.

Es recomendable continuar analizando la tendencia de caudales superficiales en el tiempo, considerando además las temporalidades en que se presentan los mayores y menores caudales, análisis que no fue realizado en este estudio.

d) Variación de glaciares

Los glaciares son una parte fundamental del análisis. Su importancia estratégica radica en que son las principales reservas de agua dulce en el planeta. Son reservas estratégicas, porque además de aportar agua a las cuencas hídricas en verano, tienen un impacto en las zonas secas del planeta.

La situación de las zonas norte, centro y sur,

según los estudios existentes en el país, se muestra un retroceso o pérdida de masa sufrida por los glaciares, que responde a los cambios climáticos con velocidades que pueden ser rápidas; así como las variaciones en el área glaciar, pueden ser más lentos, debido a las velocidades de desplazamiento (DGA, 2008). Esto da cuenta de una respuesta constante, a diferentes escalas territoriales de los glaciares, demostrando implícitamente la "importancia de los glaciares como sensores planetarios y archivos ambientales" (Christie *et al.*, 2016).

Exceso hídrico: alerta de desastres

Los eventos registrados entre los años 1912 y 2017, muestran que la zona norte presenta las comunas con mayor número de eventos registrados, con una tendencia a la baja a medida que se avanza hacia el sur de Chile. El tipo de evento que genera desastre y posee mayor predominancia a nivel nacional son las inundaciones. En base a estos resultados, es posible hipotetizar que las condiciones desérticas, sumado a la influencia del invierno altiplánico, explican en parte la mayor cantidad de eventos registrados en el norte de Chile. Otros factores a considerar en futuros estudios se relacionan con la superficie total de la comuna, densidad poblacional, población expuesta a amenazas (zonas inundables, zonas costeras, etc.), entre otras variables.

Por otro lado, se observa que en el norte, centro-norte y extremo sur del país, se registraron mayores eventos de inundaciones y aluviones en el siglo XX, mientras que en los años transcurridos del siglo XXI la zona centro-sur y sur del país, registraron mayores eventos de inundaciones y aluviones.

NÚMERO DE INUNDACIONES, ALUVIONES Y TSUNAMIS REGISTRADOS POR REGIÓN, SIGLO XX Y SIGLO XXI.

Período de Comparación	Inundaciones ¹		Aluviones ²		Tsunamis ³	
Región/ Tipo de Evento	Siglo XX ⁴	Siglo XXI ⁵	Siglo XX	Siglo XXI	Siglo XX	Siglo XXI
ARICA Y PARINACOTA	48	16	2	1	0	0
TARAPACÁ	19	18	8	2	0	0
ANTOFAGASTA	62	23	20	9	0	0
ATACAMA	42	14	11	3	0	0
COQUIMBO	58	9	3	1	0	0
VALPARAÍSO	79	15	5	6	0	1
METROPOLITANA	105	26	3	3	0	0
LIBERTADOR GENERAL BERNARDO OHIGGINS	10	13	0	1	0	0
MAULE	15	18	1	0	0	0
BIOBÍO	9	38	0	4	0	2
LA ARAUCANÍA	11	27	1	2	1	0
LOS RÍOS	6	12	1	5	1	0
LOS LAGOS	7	15	0	4	1	1
AYSÉN, DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO	17	4	2	1	0	2
MAGALLANES Y DE LA ANTÁRTIDA	14	4	0	0	0	1

Notas:

1. Inundaciones: Corresponde a un rápido ascenso del nivel del agua, generando caudales inusuales que cubren o llenan superficies de terreno que normalmente son secas.

2. Aluviones: Corresponde a un flujo de barro donde el agua arrastra el material suelto (detritos) por una ladera, quebrada o cauce.

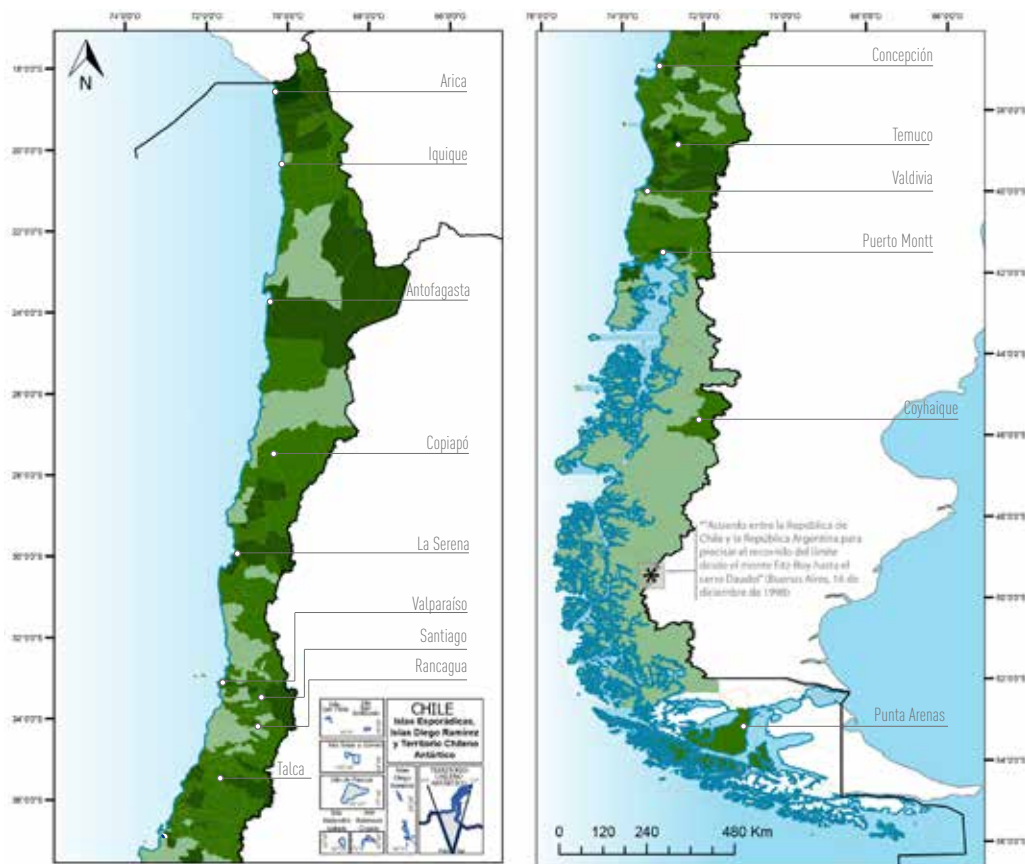
3. Tsunami: Corresponde a una serie de olas largas generadas en el océano que se propagan a gran velocidad en todas las direcciones desde su punto de origen, por un disturbio sísmico submarino (terremoto, erupción volcánica, caída de meteoritos, etc.) que impulsa y desplaza verticalmente la columna de agua.

4. Siglo XX: Registro entre los años 1912 y 1999.

5. Siglo XXI: Registro entre los años 2000 y 2017.

Fuente : Eridanus, 2018 para Escenarios Hídricos 2030.

NÚMERO DE EVENTOS DE INUNDACIONES DISTRIBUIDO POR COMUNAS EN CHILE (PERÍODO 1912 - 2017)

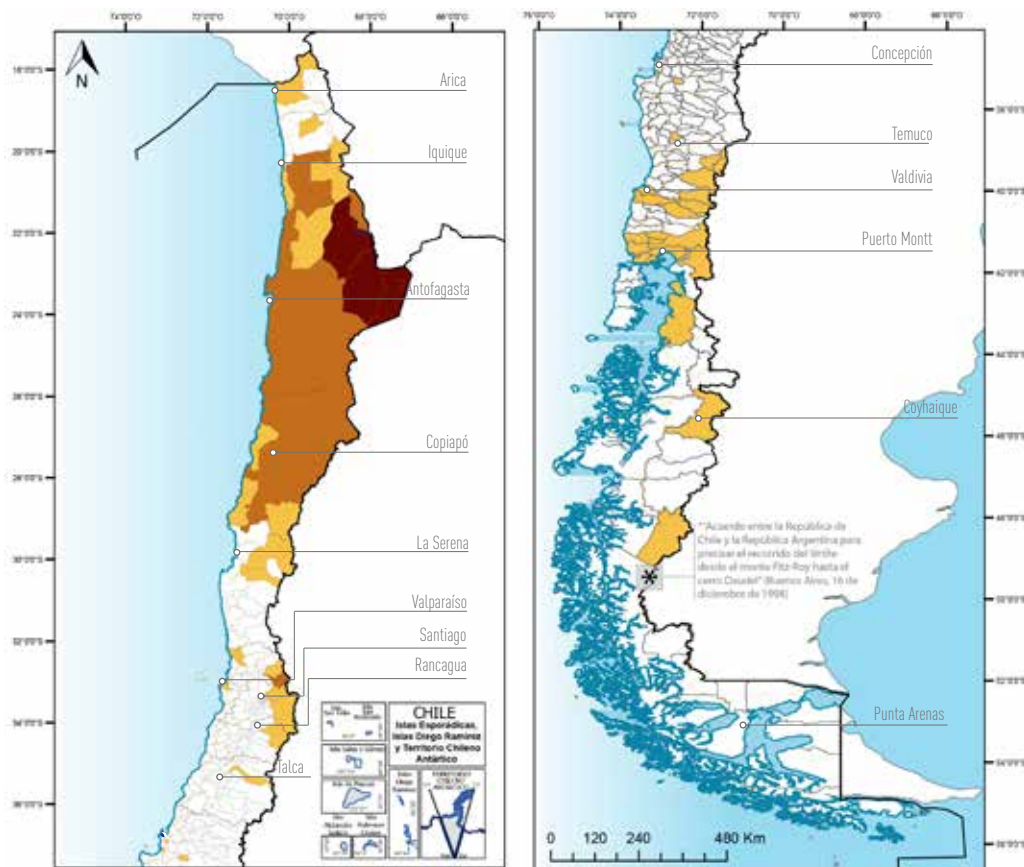


DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

- Capital Regional
- Límite de cuencas
- Límite Internacional
- Sin eventos
- Entre 1 y 8 eventos
- Entre 9 y 14 eventos
- Entre 15 y 30 eventos
- Entre 15 y 30 eventos

Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018.

NÚMERO DE EVENTOS DE ALUVIONES DISTRIBUIDO POR COMUNAS EN CHILE (PERÍODO 1912 - 2017)



DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S



Fuente: Escenarios Hídricos 2030, 2018.

Calidad: problemas hacia el norte

Cabe destacar que la región de Antofagasta es la que presenta mayor cantidad de estaciones con calidad insuficiente, situación que se asocia a los altos niveles de arsénico. Estos registros están fuertemente asociados al río Loa y a la cuenca del Salar de Atacama en menor medida; luego le siguen las cuencas del río Lluta, río Camarones, cuenca altiplánica y de la Pampa del Tamarugal.

Las regiones desde Atacama hasta O'Higgins presentar una buena calidad del agua. En la región de Coquimbo, durante el periodo 2006-2011, hay alrededor de nueve estaciones con calidad insuficiente, independiente de la época del año, relacionado a los niveles de arsénico, cadmio y cobre, todas ellas en la parte alta de la cuenca del Río Elqui. Si bien la región de Valparaíso, presenta algunas estaciones con calidad insuficiente en verano y primavera, asociadas principalmente a la demanda química de oxígeno (DQO), cobre y mercurio, en general las estaciones presentan una buena calidad.

Para la Región Metropolitana, en todas las épocas del año predomina la calidad regular asociada a DQO como parámetro principal, sin embargo, en primavera se presentan varias estaciones con calidad insuficiente, las cuales corresponden al río Mapocho (salvo una que pertenece al estero Puangue).

En la región de O'Higgins predominan las estaciones con buena calidad. Existe una estación con calidad insuficiente desde otoño a primavera y dos en verano, asociadas al molibdeno, las cuales pertenecen al estero Alhué (cuenca del río Carén) y al río Cachapoal en invierno.

En general en las regiones de la zona central, el periodo 2011-2016 presenta una mejora respecto al periodo anterior, salvo en la región de Valparaíso en la época de verano, donde la calidad clasificada como insuficiente aumenta de 1 a 10 estaciones, producto del contenido de arsénico. En la Metropolitana, la época de otoño presenta un aumento en las estaciones (de 2 a 4) que registran una calidad insuficiente, producto del contenido de arsénico, de las cuales cinco se encuentran en el río Mapocho y una en el río Maipo.

La zona sur del país, desde el Maule hasta Magallanes, tiene una clara dominancia de buena calidad en el periodo 2006-2011 y pasando a una calidad excelente en el 2011-2016. En algunas estaciones se muestra la DQO como parámetro sobresaliente.

Análisis de riesgo hídrico: oportunidad para el futuro

El análisis de los datos muestra un desbalance entre las precipitaciones que disminuyen y el aumento de la sequedad del aire (por alza de temperaturas), lo cual hace que la cobertura vegetal aumente su evapotranspiración, teniendo -por tanto- un mayor requerimiento hídrico (consumo de agua). Esta variabilidad climática se acentúa hacia la zona centro sur de Chile.

Por otro lado, el indicador de tendencia en niveles de pozos, muestra que entre el Norte Chico hasta la región de O'Higgins hay una tendencia negativa estadísticamente significativa (a la baja en los niveles de pozos). Desde el Maule hacia el sur de Chile no es posible determinar su tendencia, dado que la información disponible (frecuencia) no es adecuada para este tipo de análisis.

Los caudales superficiales medios anuales exhiben una tendencia a mantenerse en el tiempo, de acuerdo al análisis realizado. Si bien se sabe que muchos caudales de ríos en Chile dependen de la caída de nieve y, en parte, de glaciares, se desconoce hasta el momento la relación directa que existe entre glaciares y caudales.

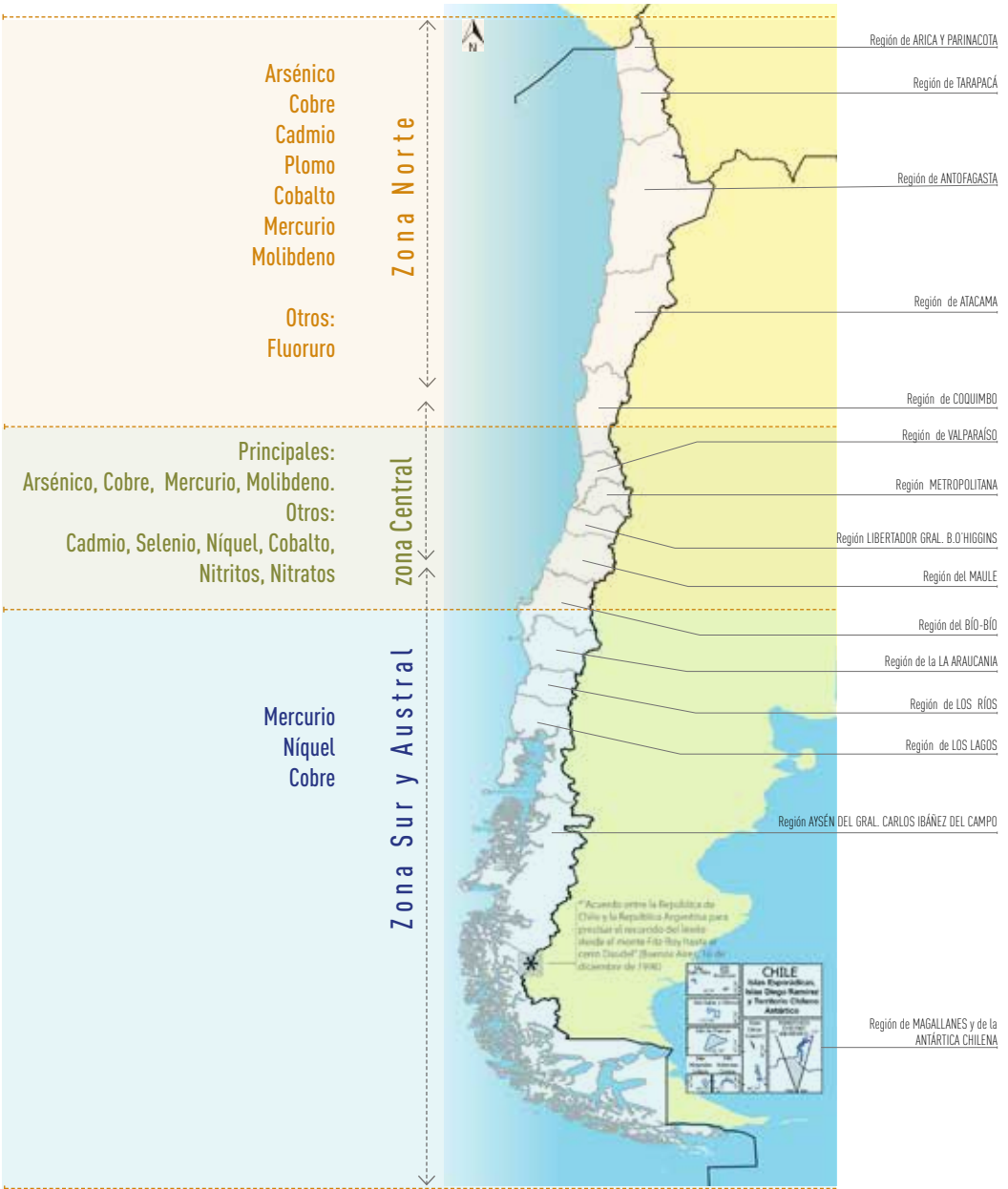
Santibáñez (2016) menciona que “la elevación de las líneas de las nieves en unos 500 metros entre el río Aconcagua y el Biobío, representa una pérdida de 400 a 450 millones de metros cúbicos de agua que ahora caerían en forma líquida y no sólida, por lo que dejarían de estar disponibles para la estación estival”. Esto podría explicar en parte la mantención del caudal medio anual, donde las precipitaciones de agua lluvia incrementan la escorrentía superficial en invierno, generando períodos de déficit en verano. Este fenómeno podría estar afectando principalmente al sector agrícola, dado el cambio en la temporalidad de los caudales disponibles para su uso.

Respecto a los glaciares, según los estudios realizados por la DGA, desde el año 2003 en adelante se observa un retroceso en todo Chile, excepto en el glaciar Pío XI en la zona austral. En este ámbito se requiere mayores análisis para cuantificar con mayor certidumbre la magnitud de la disminución.

Las manifestaciones de la variabilidad climática en Chile han sido descritas por Santibáñez (2016), según las tendencias observadas y los pronósticos que hacen los modelos mundiales del clima:

- Disminución de la precipitación principalmente en zonas costeras.
- Disminución del número de días de lluvia.
- Aumento de la energía de la precipitación.
- Incremento del contenido de vapor del aire.
- Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida.
- Aumento de la evapotranspiración y requerimientos de riego.
- Posible disminución en la recarga de las napas.
- Mayor arrastre de sedimentos.
- Temperaturas máximas más altas en zonas interiores y más bajas en sectores costeros.
- Disminución del frío invernal.
- Incremento del estrés térmico de las plantas.
- Aumento del viento.
- Mayor nubosidad, especialmente en un corredor de 60 Km desde la costa.

CONTAMINANTES MÁS RELEVANTES POR ZONA GEOGRÁFICA.



LIMITACIONES EN LA INFORMACIÓN

Una de las definiciones iniciales para el desarrollo de la Radiografía del Agua fue que se trabajaría con la mejor información existente a nivel nacional. Esto si bien significó asumir que hay carencias de información -tal como lo exponen las distintas iniciativas de agua que se han desarrollado anteriormente en el país-, para no quedar atrapado en las “brechas de información”, fue importante poder determinar dónde están esos vacíos y de qué tipo son para poder abordarlos; si se dan en algún parámetro en particular, y en qué zonas específicas.

INNOVACIÓN A PARTIR DE LA ESCASEZ

Conclusiones

El desarrollo de la Radiografía del Agua ha significado la recopilación y análisis de una gran cantidad de estudios e información clave proporcionada por especialistas, académicos y entidades participantes de Escenarios Hídricos 2030 quienes con el objetivo común de avanzar y resolver la problemática del agua en Chile pusieron a disposición sus sólidos conocimientos y experiencias en la materia.

El estudio realizado por los expertos nacionales e internacionales permite identificar los territorios con potencial falta de agua y posibilidad de sufrir daño

social, ambiental y/o económico debido a la cantidad y calidad de agua disponible. Se identificaron las cuencas con mayor y menor Brecha y Riesgo hídrico desagregando en cada análisis los diferentes indicadores y su comportamiento, como un “scanner” al agua, lo que finalmente ha permitido aproximarnos al estudio y comprensión de los diferentes componentes del ciclo del agua. Se ha destacado además los territorios donde falta la información.

Si bien el fenómeno de disminución de precipitaciones y aumento de temperaturas se manifiesta en todo Chile, esta variación se agudiza desde la zona central del país hacia el sur y, principalmente, en las zonas aledañas a la costa. Las aguas subterráneas analizadas muestran una tendencia a la disminución al igual que los glaciares en los análisis de retroceso y balance de masa realizados. Los aluviones registrados en los últimos años, se han atribuido a la subida de la isoterma cero, donde la precipitación de lluvia ha reemplazado la caída de nieve en zonas cordilleranas. Estos cambios podrían afectar la sustentabilidad de los sectores agrícola y forestal que dependen de las precipitaciones, así como la hidroelectricidad por la limitada oferta de agua superficial y subterránea, principalmente en las regiones de Maule y Biobío. La situación hídrica en la zona norte, centro y sur de Chile son diferentes, por lo tanto las soluciones e instrumentos a implementar son particulares para cada territorio. Con este aporte Escenarios Hídricos 2030 avanzará en un trabajo enfocado en 6 cuencas paradigmáticas como lo son: Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker para la construcción de escenarios futuros y soluciones que aseguren el desarrollo futuro de nuestro país.



AGRADECIMIENTOS

El trabajo realizado para concretar esta Radiografía del Agua no sólo significó integrar información, sino a muchas personas e instituciones que brindaron un apoyo activo a esta iniciativa. Reuniendo datos, registros, pero también puntos de vista, experiencias diversas y disciplinas distintas, se pudo llegar a este recuento que busca ser una contribución para una mejor gestión del agua en Chile, con una mirada a futuro de los recursos hídricos. La iniciativa Escenarios Hídricos 2030 reconoce y agradece el aporte de cada una de las personas e instituciones que trabajan activamente en la iniciativa y que colaboraron en el desarrollo de esta Radiografía del Agua.

Miembros participantes de Escenarios Hídricos 2030

Jorge Ducci (Banco Interamericano de Desarrollo), Carlos Estévez (Dirección General de Aguas), Marcelo Mena (Ministerio de Medio Ambiente), Patricio Meller (Fundación Chile), Marcos Kulka (Fundación Chile), Diego Luna (Fundación Futuro Latinoamericano), Hernán Blanco (Fundación AVINA), Magaly Espinosa (Ministerio de Obras Públicas), Ricardo Ariztía (Sociedad Nacional de Agricultura), Patricio Crespo (Sociedad Nacional de Agricultura), Víctor Galilea (ANDESS), Felipe Celedón (SONAMI), Claudio Seebach (Generadoras de Chile), María Cristina Betancour (SONAMI), Carlos Gajardo (SONAMI), Simón Bruna (Ministerio de Medio Ambiente), Juan Pablo Matte (Sociedad Nacional de Agricultura), Francisca Rivero (Ex Fundación AVINA), Adrián Lillo (Dirección General de Aguas), Francisco Donoso (ANDESS*), Jaime Espíndola (Generadoras de Chile), Sebastián Miller (Banco Interamericano de Desarrollo), Fernando Brito (Banco Interamericano de Desarrollo), Sebastián Bonelli (The Nature Conservancy), Daniela Cabezas (Ex The Nature Conservancy), Ricardo Bosshard (WWF), Koen Verbist (UNESCO), Roque Sáenz (Universomos), Claudia Farías (Universomos), Carolina Bustamante (Fundación AMULEN), Rocío Espinoza (Fundación AMULEN), Andrea Osses (Dirección General de Aguas), Paula Díaz Palma (Ministerio de Medio Ambiente),

Ivalú Astete (Ministerio de Medio Ambiente), Verónica Droppelmann (Ministerio de Medio Ambiente), Felipe Zavala (Ministerio de Minería), María de la Luz Vásquez (Ministerio de Minería), Jaime Yáñez (Comisión Nacional de Riego), Mónica Rodríguez (Comisión Nacional de Riego), Mario Pérez (INDAP), Rodrigo Pérez (INDAP), Esteban Tohá (Ministerio de Energía), Carlos Olivares (Ministerio de Energía), Karla González (Instituto Nacional de Hidráulica), Rodrigo Herrera (Instituto Nacional de Hidráulica), Enrique Galecio (Instituto Nacional de Hidráulica), Cristián Sobarzo (Dirección de Obras Hidráulicas), Claudio Fiabane (Ministerio del Interior), Sofía Aroca (Ministerio de Hacienda), Camila Montes (COCHILCO), Cristian Cifuentes (COCHILCO), Wilfredo Alfaro (CONAF), Pilar Cruz (AMUCH), Gabriel Zamorano (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Rodrigo Farías (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Carolina Espinoza (SERNAGEOMIN), Jorge Gómez (Generadoras de Chile), Orlando Acosta (Generadoras de Chile), Carlos Barría (Asociación Gremial de Pequeños y Medianos Generadores de Energía), Rafael Loyola (APEMEC), Gloria Alvarado (FENAPRU), José Orellana (FENAPRU), José Rivera (FENAPRU), Guillermo Saavedra (FESAN), Carlos Berroeta (ANDESS*), Daniela Álvarez (ASPROCER), Renzo Boccanegra (ASPROCER), Francisco Albornoz (Fundación para el Desarrollo Frutícola - FDF), Benjamín Gramsch (SOFOPA), Francisco Gana (Sociedad Nacional de Agricultura), Juan Guillermo Jeldes (Sociedad Nacional de Agricultura), Fernando Peralta (Confederación de Canalistas de Chile), María Teresa Arana (CORMA), Pía Silva (CORMA), Carlos Descourvières (Chilealimentos), Carlos Ciappa (ILC Abogados), Mauro Nalesso (Banco Interamericano de Desarrollo), Eduardo Bustos (Centro de Cambio Global UC), Gladys Vidal (Universidad de Concepción), Georg Welzel (Consultor), Rodrigo Oyanedel (Walton Family Foundation), Roberto Pizarro (Universidad de Talca), Javier Hurtado (Cámara Chilena de la Construcción), Alex Thiermann (Cámara Chilena de Comercio, Servicios y Turismo), Katherine Rojas (Cámara Chilena de Comercio, Servicios y Turismo), Alejandro Salinas (Asociación Chilena de

Municipalidades), Andrés Pesce (Fundación Chile), Ulrike Broschek (Fundación Chile), Claudia Galleguillos (Fundación Chile), Paola Matus (Fundación Chile), María José Ramírez (Consultor Fundación Chile), Débora Gomberoff (Fundación Chile), Fernando González (Fundación Chile), María José Gómez (Fundación Chile), Rodrigo Cordero (Fundación Chile).

Otras personas que realizaron aportes para el desarrollo de la Radiografía del Agua

Cecilia Zelaya (SHOA), Milo Millán (Dirección de Obras Hidráulicas), Gustavo Calle (Dirección General de Aguas), Miguel Muñoz (ONEMI), Fernando Díaz (ONEMI), Carolina Jara (SERNAGEOMIN), Ariel Grandón (Dirección de Obras Portuarias-MOP), Ricardo Faúndez (Dirección General de Obras Públicas), Antonio Yaksic (Ministerio de Agricultura), Camilo Navarro (Ministerio de Agricultura), Diego San Miguel (Dirección General de Aguas), Pamela García (Dirección General de Aguas), Juan Carlos Salgado (Dirección General de Aguas), Gladys Santis (Ministerio de Medio Ambiente), Mauricio Lavín (Dirección General de Obras Públicas - Secretaría Ejecutiva de Medio Ambiente y Territorio), Claudia Villarroel (Dirección Meteorológica de Chile), Oscar Bustamante (Ministerio de Agricultura), Bárbara Zamora (Dirección General de Obras Públicas - Secretaría Ejecutiva de Medio Ambiente y Territorio), Evelyne Medel (Dirección General de Obras Públicas - Secretaría Ejecutiva de Medio Ambiente y Territorio), Jorge Gironás (Centro Cambio Global - UC), Sebastián Segovia (DOH - APR), Alfredo Apey (ODEPA), Axel Dourojeanni (Consultor Experto Senior), Agustina Mohando (Ex Fundación Chile), Andrea Arancibia (Consultor Fundación Chile), Alejandro Meza (Practicante Universidad Técnica Federico Santa María), Valeska Galleguillos (Practicante Universidad Viña del Mar), Nicol Barriga (Practicante Universidad de Chile), Gabriela Arcos (Practicante Universidad de Santiago de Chile).

Instituciones que aportaron información de base para la elaboración de la Radiografía del Agua

Ministerio de Minería, Ministerio de Obras Públicas,

Ministerio del Interior, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Energía, Comisión Nacional de Riego, Confederación de Canalistas del Maipo, Sociedad Nacional de Agricultura, Oficina De Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Dirección General de aguas (DGA), Superintendencia de Servicio Sanitarios (SISS), Instituto Nacional de Hidráulica (INH), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), Sociedad Nacional de Minería (SONAMI), Generadoras de Chile, Corporación Chilena de la Madera (CORMA), Corporación Nacional Forestal (CONAF), Universidad de Chile- CR2, CAZALAC, Eridanus, Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS*), Aguas Andinas, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Expertos que contribuyeron al desarrollo y revisión de la Radiografía del Agua

José Vargas (Universidad de Concepción), Bastián Sáez (Universidad de Concepción), Rodrigo Aguayo (Universidad de Concepción), Carolina Jaramillo (Consultor), Rodrigo Acevedo (Consultor), Arjen Hoekstra (Universidad de Twente, Países Bajos), Daniel Chico (Ex Water Footprint Network), Héctor Maureira (CAZALAC), Froukje Kuijk (UNESCO), Mauricio Galleguillos (Universidad de Chile - CR2), Mauricio Zambrano (Universidad de Chile - CR2), Cristóbal Puelma (Universidad de Chile - CR2), Alberto Jopia (Universidad de Chile - CR2), Iván Castillo (Universidad de Chile - CR2), Cristóbal Girardi (Fundación Chile), Raquel Charte (Fundación Chile), Mariela Elorrieta (Practicante y Tesista Universidad Técnica Federico Santa María, Elena Sanchis (Ex Fundación Chile), Mauricio Cartes (Eridanus), Rodrigo Meza (Eridanus), Valeska Cárcamo (Eridanus), Eduardo Rubio (Eridanus), Renata de Souza (Consultor), Javier Vitale (Instituto Nacional del Agua, Universidad Nacional de Cuyo - Argentina), Patricia Puebla (Universidad Nacional de Cuyo- Argentina).

* ANDESS participó del proceso pero no suscribe el presente documento.

Para ver la versión completa de
"Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico"
visitar sitio web: www.escenarioshidricos.cl





GOBERNANZA ESCENARIOS HÍDRICOS 2030

Coordinación y facilitación



Comité Ejecutivo



Ministerio Obras Públicas
Ministerio del Medio Ambiente
Dirección General de Aguas (DGA)

Comité Técnico



Instituto Nacional de Hidráulica (INH)
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)
Dirección General de Aguas (DGA)

Especialistas temáticos invitados



Grupo de Construcción de Escenarios



Ministerio Obras Públicas
Ministerio del Medio Ambiente
Dirección General de Aguas
Ministerio de Minería
Ministerio de Energía
Ministerio de Hacienda
Ministerio del Interior y Seguridad Pública
Dirección de Obras Hidráulicas
Instituto Nacional de Hidráulica
CNR
INDAP
COCHILCO
SISS
SERNAMEOMIN
CONAF

