

RADIOGRAFÍA DEL AGUA

BRECHA Y RIESGO HÍDRICO EN CHILE









**RADIOGRAFÍA DEL AGUA
BRECHA Y RIESGO HÍDRICO EN CHILE**
Chile, Junio 2018
ISBN: 978-956-8200-42-8

**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, Universidad Nacional
de Cuyo - Argentina
Patricia Puebla, Universidad
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

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, Santiago, 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 2030¹.

1. ANDESS participa de la iniciativa EH2030, pero no suscribe el presente documento.

Autorizada su circulación por Resolución Exenta N°40 del 19 de abril del 2018 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado.

"La edición y circulación de mapas, cartas geográficas u otros impresos y documentos que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile, de acuerdo con el Art. II, letra g del DFL N° 83 de 1979 del Ministerio de Relaciones Exteriores".

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 Nuble 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.

ÍNDICE

PRÓLOGO	5
AGRADECIMIENTOS	10
1 EL AGUA SE FILTRA EN LA AGENDA GLOBAL	12
1.1 Foro de alertas	14
1.2 Escenarios globales 2050: escogiendo un destino probable	15
2. ESCENARIOS HÍDRICOS 2030: INICIATIVA EN DESARROLLO	16
2.1 Situación del agua en Chile	17
2.2 Construcción colectiva	19
2.3 Punto de origen: la Radiografía del Agua	22
2.4 Validación de expertos	22
2.5 Radiografía del Agua: qué es y qué no es	26
3. METODOLOGÍA LA COMPLEJIDAD DE “MEDIR” EL AGUA	28
3.1 Brecha Hídrica	29
3.2 Oferta hídrica referencial	32
3.3 Demanda hídrica	33
3.4 Riesgo Hídrico	48
3.4.1 Déficit hídrico	51
3.4.2 Exceso de agua	57
3.4.3 Calidad de agua	59
4. RESULTADOS: LA MEMORIA DEL AGUA	62
4.1 Brecha Hídrica nacional	63
4.1.1 Heterogeneidad en la oferta hídrica	63
4.1.2 Demanda: las huellas que deja el agua	67
4.1.3 Análisis de brecha: cuencas bajo presión	79
4.2 Riesgo Hídrico nacional: alertas sobre el agua	83
4.2.1 Déficit hídrico: se acentúa la sequía	83
4.2.2 Exceso de agua: alerta de desastres	98
4.2.3 Calidad de agua: problemas hacia el norte	106
5. LIMITACIONES EN LA INFORMACIÓN	114
5.1 Oferta hídrica referencial	115
5.2 Demanda de agua	116
5.3 Déficit hídrico	118
5.4 Exceso de agua	119
5.5 Calidad de agua	121
6. CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	128
GLOSARIO	135
GLOSARIO SIGLAS Y ABREVIATURAS	139



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.

Entre 2011 y 2050 se espera que la población mundial aumente un 33%, pasando de 7.000 millones a 9.300 millones de habitantes (UN DESA, 2011), y la demanda de alimentos aumentará un 60% en el mismo período (Alexandratos y Bruinsma, 2012).

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 recurso que se extrae de las diversas fuentes.

A nivel mundial, se calcula que el costo de la inseguridad hídrica para el sector del riego es de US\$94.000 millones al año y el costo total de la inseguridad hídrica para la economía mundial es de US\$500.000 millones anuales (Sadoff et al., 2015).

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 de 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 (agua lluvia).

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 más desastres, concentrando el norte mayor número de eventos que el sur de 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 período 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 período 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 entre la zona del Maule y el resto de la zona sur del país, incluido 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



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 vistas, experiencias diversas y disciplinas distintas, se pudo llegar a este recuento que busca ser la plataforma 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 del 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 del 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 Farfás (Universomos), Carolina Bustamante (Fundación AMULEN), Rocío Espinoza (Fundación

AMULEN), Andrea Osses (Dirección General de Aguas), Paula Díaz Palma (Ministerio del Medio Ambiente), Ivalú Astete (Ministerio del Medio Ambiente), Verónica Droppelmann (Ministerio del 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 (SOFFOFA), 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

* ANDESS participa de la iniciativa EH2030, pero no suscribe el presente documento.

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 del 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 (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).

A vertical photograph of a waterfall in a dense, green forest. The water flows over dark, jagged rocks, creating white foam. The surrounding trees are vibrant green, and the scene is captured from a low angle, looking up the waterfall.

1. EL AGUA SE FILTRA EN LA AGENDA GLOBAL

Gota a gota, el agua ha ido filtrándose en la agenda global, hasta llegar a ubicarse entre las principales alertas emitidas por los organismos internacionales. Al alero del cambio climático o por el impacto multidimensional que provoca su irregular provisión en distintas zonas del planeta, el recurso hídrico está generando continuos llamados de atención, en vías de convertirse en lo que algunos han denominado “el petróleo del siglo XXI”.

La 5ª evaluación realizada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) prevé que, por cada grado de aumento de la temperatura global, aproximadamente el 7% de la población mundial estará expuesta a una disminución de los recursos hídricos renovables de al menos el 20% (Döll y otros, 2014; Schewe y otros, 2014). Esto colocará a la mayor parte de la población mundial en riesgo de escasez de agua.

La Organización Meteorológica Mundial (2014) está entre las que han levantado la voz respecto a la importancia de los desastres ocasionados por el clima, debido a las pérdidas de vida y el consecuente retroceso

en el desarrollo económico. La sequía, la temperatura extrema, las inundaciones y los ciclones tropicales son destacados por el aumento en frecuencia e intensidad.

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% de las muertes (OMM, 2014). En el 2015, se alcanzaron registros récords de temperaturas, precipitaciones y sequías, continuando en 2016 con esa tendencia (OMM, 2016).

La sequía es definida como un evento en que la demanda supera a la oferta de agua, generando un déficit que tiene asociado un daño.

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”* (Martínez, 2016).

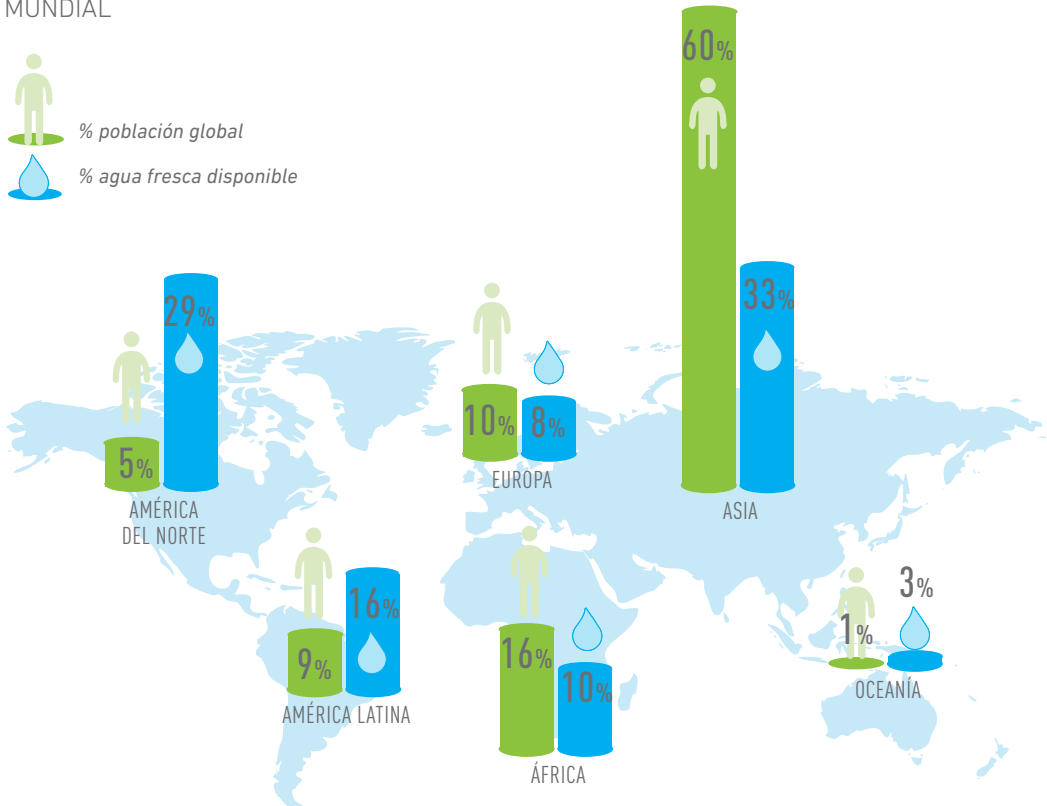
Al año 2050 más del 40% de la población mundial vivirá en zonas con estrés hídrico severo (OCDE, 2012).

1.1. FORO DE ALERTAS

El Foro Económico Mundial (2017), clasifica la crisis hídrica, entre el año 2014 y 2017, dentro de los tres principales riesgos mundiales en términos de impacto en el desarrollo económico de los países. Diversos artículos publicados por la entidad dan cuenta de la preocupación por el estado del recurso hídrico a nivel planetario.

El economista y gestor financiero Luís Torras utilizó la tribuna del Foro Económico Mundial (2017) para poner en evidencia la crisis actual: *"El grueso de las cuencas hídricas del planeta y fuentes de agua fresca están siendo sobreexplotadas o se encuentran al límite de su capacidad, sobre todo en el conjunto de países emergentes. Hasta 18 ríos que dan acceso a agua potable a un PIB equivalente de US\$ 27 mil millones, están bajo una situación de estrés hídrico severo".*

FIGURA 1
DISTRIBUCIÓN DEL AGUA Y POBLACIÓN A NIVEL MUNDIAL



Fuente: Citi Research (Torras, 2017).

Torras (2017) explica que... “para cubrir la creciente demanda de alimentos, impulsada por una demografía y prosperidad crecientes a nivel mundial, se estima que el conjunto del sector agrícola tendrá que ser capaz de incrementar la producción en un 70% de aquí a 2050, lo que pone una enorme presión sobre el agua, que es el combustible de la agricultura”.

Una alerta distinta levanta el Instituto de Investigación Deltares, en Holanda, cuyos científicos utilizaron imágenes satelitales para determinar cómo se ha modificado el agua en la superficie de la Tierra. Afirma que *“en total, unos 173.000 kilómetros cuadrados de agua ahora son tierra. Lagos han disminuido su tamaño, ríos han alterado su cauce y zonas costeras han cambiado significativamente”* (Donchyts et al., 2016).

Respecto a lo que ocurre bajo tierra, fue la Universidad de California en Irvine (Richey et al., 2015) la que encendió las alarmas con su estudio de aguas subterráneas, en el que advierte que 21 de los 37 principales acuíferos en el mundo se están agotando, de los cuales 13 se encuentran en un nivel crítico por su uso intensivo.

El World Resources Institute (WRI, 2018) se suma a la preocupación planetaria, señalando que *“la creciente contaminación está degradando el agua fresca y los ecosistemas acuáticos costeros. El cambio climático ha ido alterando los patrones de precipitación y acelerando el derretimiento de los glaciares, con un fuerte impacto en el*


suministro de agua y la presencia de eventos extremos, como inundaciones y sequías”.

1.2. ESCENARIOS GLOBALES 2050: ESCOGIENDO UN DESTINO PROBABLE

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el marco del Programa Mundial de Evaluación del Agua, publicó un estudio desarrollado por Gilberto Gallopín (2012), que proyecta cinco escenarios planetarios para 2050. La construcción de estos escenarios se basó en una hipotética secuencia de eventos, a partir de un mismo punto de origen (la situación actual), que recoge tendencias claves y sus posibles evoluciones.

En el escenario tendencial, que supone una proyección del contexto actual al 2030-2050, las innovaciones tecnológicas y su expansión continúan, llevando a usos más eficientes del agua, pero a un ritmo insuficiente en comparación con los requerimientos. El cambio climático se intensifica por falta de voluntad política y aumento en los consumos. Al final del período se toman medidas más sustanciales, pero que tendrán un impacto a largo plazo. Como consecuencia, se agotan las fuentes subterráneas de agua en la mayoría de las zonas no húmedas y las aguas superficiales también se ven afectadas por excesiva extracción, evaporación y cambios en las precipitaciones. Se genera un alto estrés hídrico en regiones áridas, especialmente en los países en desarrollo.

21 de los 37 principales acuíferos en el mundo se están agotando, de los cuales 13 se encuentran en un nivel crítico por su uso intensivo (Richey et al., 2015).



2. ESCENARIOS HÍDRICOS 2030: INICIATIVA EN DESARROLLO

2.1. SITUACIÓN DEL AGUA EN CHILE

Cifras provenientes de distintas fuentes dan cuenta de la frágil situación del recurso hídrico en Chile: 76% de la superficie de chilena está afectada por sequía, desertificación y suelo degradado (Sud-Austral Consulting SpA, 2016); y 110 acuíferos del país se encuentran actualmente con una demanda comprometida superior a su recarga (Ministerio del Interior, 2015).

Chile estuvo entre los 10 países con mayor gasto asociado a desastres en el 2015 (Kreft *et al.*, 2017). Según la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), ese año el déficit hídrico fue lo que movilizó más fondos, con un total de \$32.947 millones. Le siguen los aluviones provocados en la Región de Atacama, Antofagasta y Coquimbo, tras el núcleo frío en altura (\$19.724 millones), los incendios forestales (\$19.469 millones), el terremoto de Illapel (\$4.815 millones) y emergencias volcánicas (\$1.600 millones) (LaTercera, 2016).

Según antecedentes entregados en la Política Nacional para los Recursos Hídricos (Ministerio del Interior, 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.

Estar alejados de los grandes centros de las decisiones mundiales no implica mantenerse ajenos a la discusión global en torno al agua. Más aún cuando Chile ha ido apareciendo, cada vez con mayor frecuencia, entre los países con mayor Riesgo Hídrico al 2025 (WRI, 2015).

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, 194 comunas en el país (56% del total) fueron decretadas en emergencia agrícola por sequía. La agricultura, como principal consumidor de agua dulce (requiere aproximadamente 70% del agua dulce en Chile y en el mundo), es la que más se resiente con estas alteraciones, y con ella, la generación de alimentos a nivel nacional (MOP, 2013).

En la zona central de Chile el déficit de lluvia y nieve ha provocado una disminución en el caudal medio anual de los principales ríos y - por ende- en la vegetación nativa, factores exógenos (como temperaturas más altas y cambios en la vegetación) pueden estar detrás del aumento del déficit en los caudales (Garreaud *et al.*, 2017). Respecto a la incertidumbre sobre la causa del descenso en las precipitaciones, simulaciones en la zona central muestran que pueden ser atribuidas tanto a fenómenos naturales como al cambio climático antropogénico. Se ha estimado que una cuarta parte de la baja en

las precipitaciones, a partir del año 2010, tiene origen antropogénico (Boisier *et al.*, 2016). Otro antecedente importante a destacar es que “Los ecosistemas del ámbito acuático continental chileno presentan vulnerabilidad frente al cambio climático, en particular los humedales costeros y altiplánicos” (MMA, 2017).

Un estudio realizado entre las regiones de Atacama y el Maule en el año 1995, evaluó el impacto económico asociado al déficit en cada área productiva: agrícola, potable y minero-industrial, evidenciando que las pérdidas promedio anual de estos sectores eran de \$202.677 millones y donde proyectaron en ese momento al 2005 un valor de \$209.323 millones (Fernandez *et al.*, 1995).

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.

Tal como se observa en el estudio de escenarios globales presentado por la ONU (Gallopín, 2012), los escenarios pueden identificar tendencias (mayor probabilidad de ocurrencia) o proyectar situaciones deseadas. En el caso de esta iniciativa, se busca generar hojas de ruta en distintos territorios, como aporte a la discusión nacional, orientando a los tomadores de decisión para designar recursos, atención y energía emprendedora para las soluciones, instando al sector público, privado, académicos e investigadores. El resultado esperado es lograr contribuir a mejorar tanto la regulación como la gestión de intervenciones y políticas hídricas en



general. En suma, se trata de promover una cultura de agua, donde se comience el diseño, planificación e implementación de soluciones sistémicas multipropósito, que resulten efectivas, coordinadas y costo eficientes.

2.2. CONSTRUCCIÓN COLECTIVA

En el proceso se busca integrar distintas miradas, públicas, privadas, académicas y ciudadanas, sin sesgo a un sector en particular; reconociendo y validando a los actores de un territorio, así como valorando los productos e iniciativas que se vienen desarrollando en los diferentes sectores.

La iniciativa trabaja con un enfoque de innovación social (diálogo con base en insumos técnicos/científicos, donde se privilegia la mejor información disponible), una colaboración radical y sinérgica, sobre la base de un objetivo común que busca el uso racional, compartido y sustentable del agua.

Bajo estos lineamientos, la Etapa 1 de la iniciativa construyó una gobernanza coordinada por Fundación Futuro Latinoamericano (FFLA), Fundación AVINA y Fundación Chile (FCH), que se estructura en tres niveles fundamentales:

- **Comité Ejecutivo (CE):** vela por el cumplimiento de los objetivos y metas macro de la iniciativa y entrega los lineamientos estratégicos a las demás instancias.
- **Comité Técnico (CT):** apoya, genera insumos técnico-científicos, revisa y valida las metodologías y productos generados por la iniciativa, entregando recomendaciones técnicas a las demás instancias.
- **Grupo Construcción de Escenarios (GCE):** espacio de diálogo multisectorial y de co-construcción a cargo del desarrollo de los escenarios hídricos y sus respectivas hojas de ruta.

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 medidas, acciones y soluciones hídricas.

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
- SERNAGEOMIN
- CONAF



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

ETAPAS DE LA INICIATIVA ESCENARIOS HÍDRICOS 2030



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.



2.3. PUNTO DE ORIGEN: LA RADIOGRAFÍA DEL AGUA

La Radiografía del Agua se cimienta sobre la base de la mejor información disponible, recolectada con distintos actores pertinentes y validada por expertos nacionales e internacionales, reconocidos por su trayectoria y objetividad. Así la publicación brinda antecedentes actualizados y sistematizados de una gran cantidad de estudios y datos oficiales; con indicadores y metodologías robustas aplicadas para el análisis y la visualización de todo el territorio nacional.

Cabe destacar que un factor limitante en el desarrollo de los indicadores fue contar con información uniforme y homogénea en el país, dado el alcance nacional del estudio. Lo anterior, implicó dejar de lado estudios específicos locales, priorizando las fuentes de información de escala nacional para luego tener resultados comparables.

Para su elaboración, el Comité Ejecutivo (CE) entregó lineamientos estratégicos y propuso la integración de los conceptos de Brecha Hídrica y Riesgo Hídrico.

El Comité Técnico (CT), en un total de 21 sesiones, trabajó en conjunto con profesionales especialistas, la definición y ajuste de las metodologías a utilizar, apoyó en la identificación y recopilación de la información disponible. Además, sesionó en cinco mesas sectoriales, invitando a actores relevantes, donde se revisaron y recomendaron ajustes a los contenidos levantados.

Por su parte el Grupo Construcción de Escenarios (GCE), colaboró identificando fuentes de información complementarias y ampliando el análisis realizado desde su visión sectorial.

Cada estudio realizado que forma parte de la Radiografía del Agua, ha sido elaborado y revisado por parte del CT y expertos nacionales y extranjeros, tal como muestra la Figura 2.

2.4. VALIDACIÓN DE EXPERTOS

Los expertos que participaron en la Radiografía del Agua dando robustez técnica a la investigación, provienen de reconocidos centros académicos y científicos, tales como:

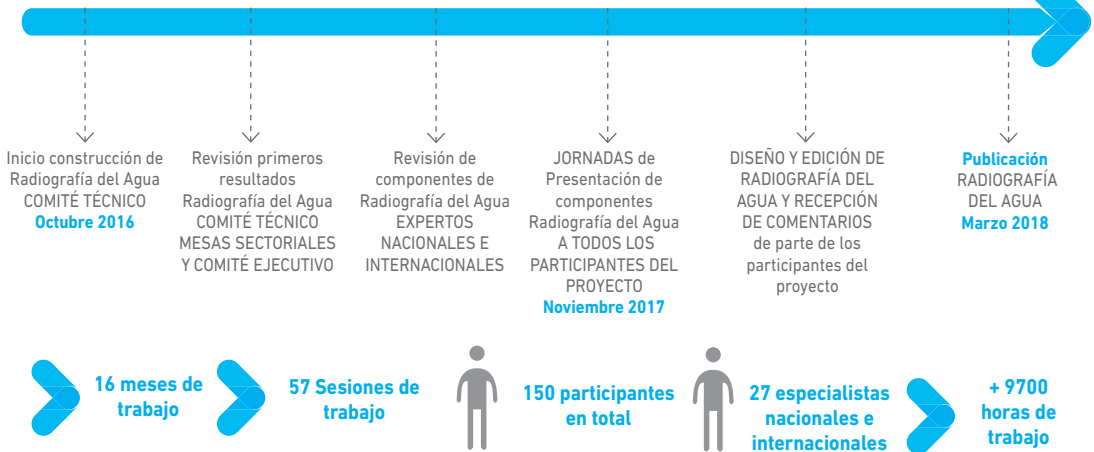
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)
- Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)
- Investigadores del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)
- Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Universidad de Concepción
- Water Footprint Network (WFN- Países Bajos)
- Universidad de Twente (Países Bajos)
- Universidad de Chile
- Eridanus
- Fundación Chile



Sesiones sectoriales del Comité Técnico

La Radiografía del Agua fue concebida sobre el cimiento de la mejor y más actualizada información disponible a nivel nacional.

FIGURA 2.
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RADIOGRAFÍA DEL AGUA



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.



Sesiones del Comité Ejecutivo

CONSULTORES INDEPENDIENTES

Trabajo realizado: aplicación de la metodología de contabilidad de Huella Hídrica directa a Chile.

- **MSc. Carolina Jaramillo**

Ingeniero agrónomo de la Pontificia Universidad Católica de Chile y MSc. en Tecnologías Ambientales e Ingeniería de la Universidad de Gent en Bélgica.

- **Rodrigo Acevedo**

Ingeniero agrónomo de la Pontificia Universidad Católica de Chile; con especialización en la Universidad Complutense de Madrid, España; y en el Massachusetts Institute of Technology, EEUU.

UNIVERSIDAD DE TWENTE Y WATER FOOTPRINT NETWORK (PAÍSES BAJOS)

Trabajo realizado: analizar la definición de alcance y metas del trabajo realizado, los

datos y fuentes empleadas, así como los principales supuestos aplicados para el estudio de Huella Hídrica en Chile. Comprobar la correcta aplicación de la metodología y los principios esenciales de la misma. Revisión y aprobación final del estudio de Huella Hídrica para Chile.

- **Dr. Arjen Hoekstra**

Tiene una maestría en Ingeniería Civil y un doctorado en Análisis de Políticas, ambos de la Universidad Tecnológica de Delft. Hoekstra fue también fundador de la Water Footprint Network y co-iniciador de Water Research Alliance.

- **MSc. Daniel Chico**

Ingeniero agrónomo de la Universidad Politécnica de Madrid, con Maestría en Economía Agraria de la misma universidad.

- **Equipo de Trabajo:**

Dra. Renata de Souza Leão

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Trabajo realizado: revisión experta de la oferta hídrica referencial en Chile (aguas superficiales y subterráneas) y tendencia de caudales superficiales por región.

- **Dr. José Vargas**

Ingeniero civil de la Universidad de Concepción y Doctor en Ciencias Ambientales de la misma casa de estudios.

- **Equipo de trabajo:**

MSc © Bastián Sáez Bravo y MSc © Rodrigo Aguayo Gutiérrez.

INVESTIGADORES CR2

Trabajo realizado: evaluación espacio-temporal del déficit hídrico para las cuencas de Chile a partir de información satelital (índice SPEI).

- **Dr. Mauricio Galleguillos**

Ingeniero agrónomo con



Sesiones del Comité Técnico

Mención en Fruticultura de la Universidad de Chile, MSc. en Funcionamiento de Ecosistemas naturales y Cultivados en ENSAM/ Université de Montpellier II y Ph.D. en Montpellier SupAGRO, Francia.

Equipo de Trabajo: Ph.D Mauricio Zambrano, Cristóbal Puelma y Alberto Jopia

CAZALAC Y UNESCO

Trabajo realizado: desarrollo del Indicador de déficit hídrico en aguas subterráneas de Chile.

• **Héctor Maureira**

Ingeniero civil ambiental de la Universidad de La Serena y Magister(c) en Gestión Ambiental de la Universidad Católica del Norte.

• **MSc. Kuijk, Froukje**

Ingeniero en BioCiencias y MSc. en Conservación de suelos y aguas Ingeniería de KU Leuven.

FUNDACIÓN CHILE

Trabajo realizado: desarrollo del Índice de Calidad para Aguas superficiales (ICA) de Chile.

• **Dr. Cristóbal Girardi**

Ingeniero en Biotecnología Molecular de la Universidad de Chile, Máster en Bioproductos y dominio de los procesos de transformación de la Universidad de Montpellier, Doctor en Recursos Naturales de la Universidad de Aachen y Posgrado en Hidrología Subterránea de la Universidad Politécnica de Catalunya.

Equipo de Trabajo: Mariela Elorrieta, Elena Sanchis, Raquel Charte e Iván Castillo.

ERIDANUS Y UNIVERSIDAD DE CHILE

Trabajo realizado: desarrollo de análisis exceso hídrico en Chile.

• **MSc. Mauricio Cartes**

Ingeniero civil, Mención Hidráulica, Sanitaria y Ambiental y MSc. de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico, de la Universidad de Chile.

• **Dr. Santiago Montserrat**

Ingeniero hidráulico sanitario y Ambiental, Magíster en Recursos y Medio Ambiente Hídrico, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Mención Fluidodinámica con un Post Doctorado en flujos granulares naturales, AMTC, Universidad de Chile.

Equipo de Trabajo: MSc.

Rodrigo Meza, Valeska Cárcamo y MSc. Eduardo Rubio.

2.5. 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 abastecimiento.

Riesgo Hídrico

Se entiende como la posibilidad de que ocurra un daño social, ambiental y/o económico en un territorio y período de tiempo determinado, derivado de la cantidad y 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

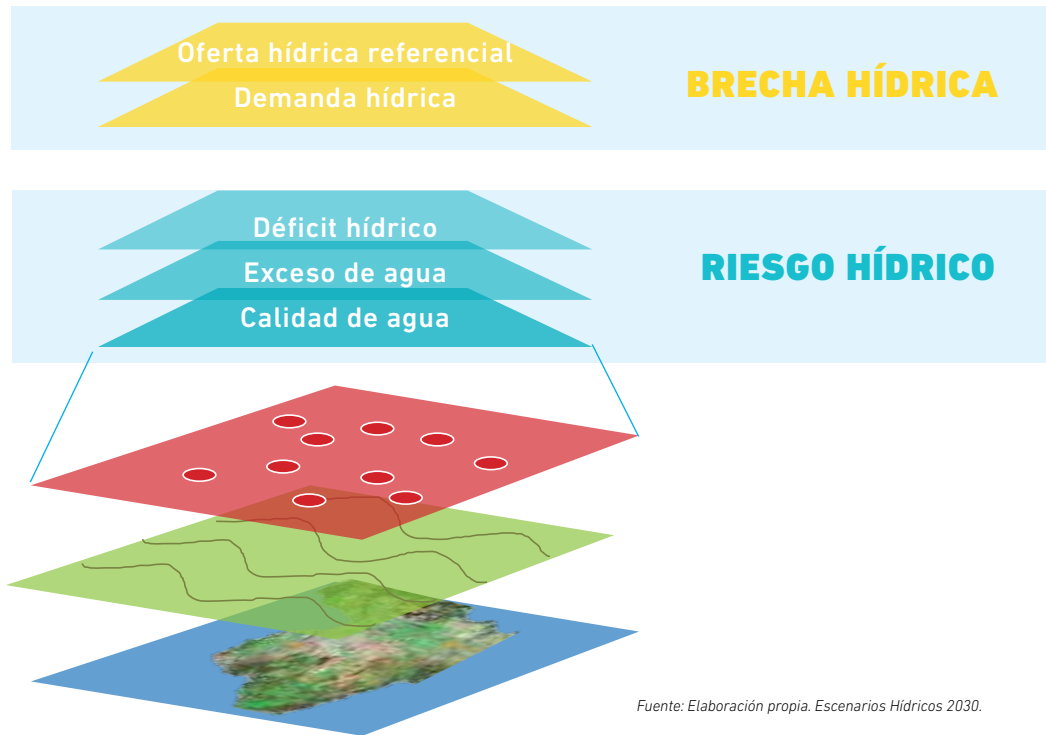
1. No es un diagnóstico¹ de la situación actual del recurso hídrico en Chile.
2. No pretende ser un balance hídrico nacional.

1. 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).

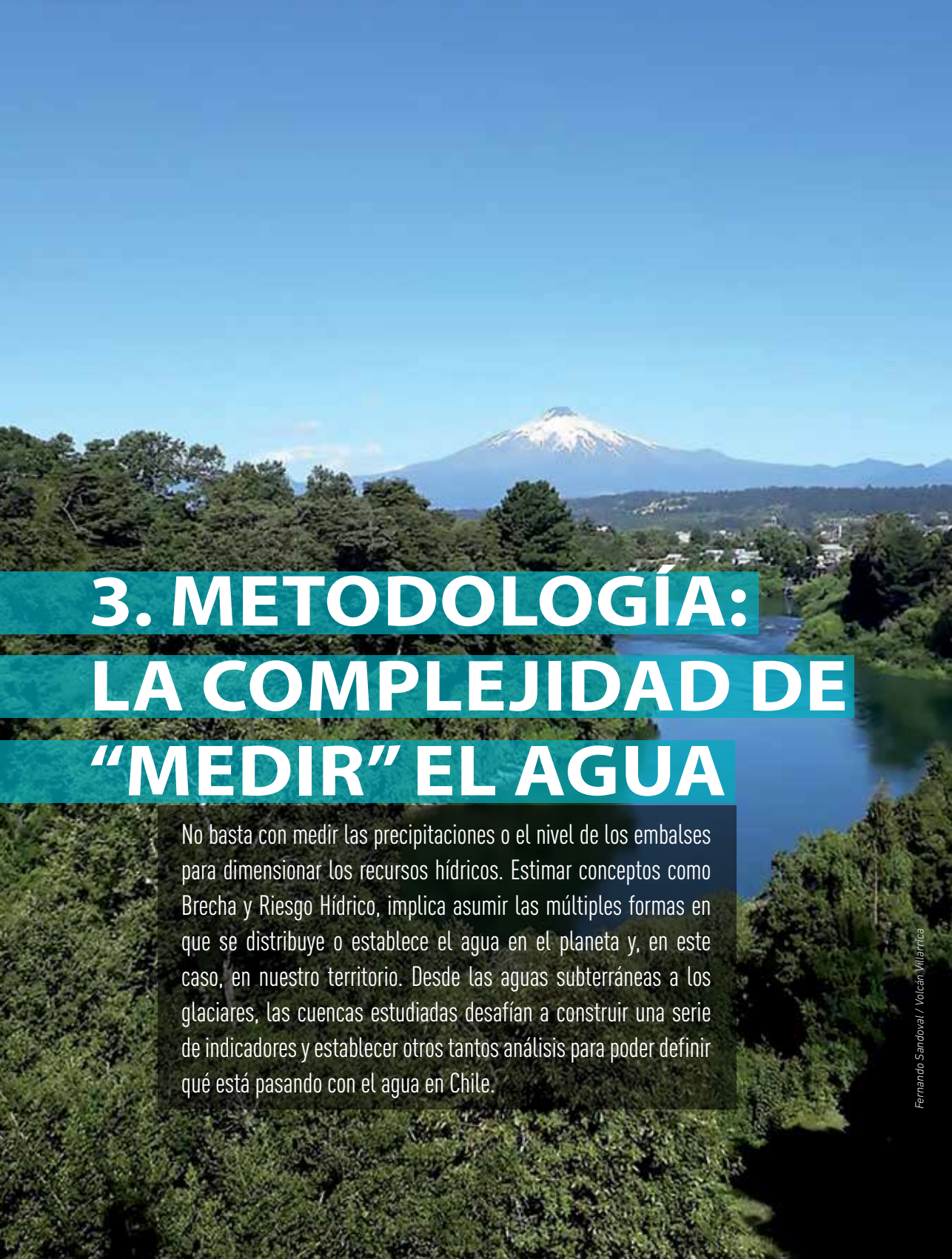
La aspiración es que esta radiografía sea dinámica y utilizada como insumo por quienes la requieran, representando una plataforma de información que siga construyéndose con nuevos aportes de datos y análisis complementarios.

Los conceptos centrales en la Radiografía del Agua son: Brecha Hídrica y Riesgo Hídrico, los cuales han sido analizados en detalle y que contienen cada uno de los componentes que forman parte del Ciclo del Agua.

FIGURA 3.
DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA



La Radiografía del Agua es el levantamiento de indicadores en el territorio, que dan cuenta de la situación actual y de la tendencia del recurso hídrico en Chile.



3. METODOLOGÍA: LA COMPLEJIDAD DE “MEDIR” EL AGUA

No basta con medir las precipitaciones o el nivel de los embalses para dimensionar los recursos hídricos. Estimar conceptos como Brecha y Riesgo Hídrico, implica asumir las múltiples formas en que se distribuye o establece el agua en el planeta y, en este caso, en nuestro territorio. Desde las aguas subterráneas a los glaciares, las cuencas estudiadas desafían a construir una serie de indicadores y establecer otros tantos análisis para poder definir qué está pasando con el agua en Chile.

3.1. BRECHA HÍDRICA*

El agua, además de sostener y ser la base de toda forma de vida en el planeta, actúa, entre otros, como medio de producción de los distintos sectores socio-económicos. *“La explotación exagerada de una fuente de agua puede tener efectos sobre las características de la calidad de agua ofrecida y alterar la dinámica de flujo del agua”. “...finalmente la excesiva presión sobre una fuente de agua, puede conducir a su desaparición”* (Rivera *et al.*, 2004).

Es importante para las labores de planificación sostenible del recurso, conocer la cantidad de agua disponible ofrecida por la fuente de agua, así como los niveles de demanda sobre éstos, a modo de asegurar un balance adecuado entre ambos que garantice la sustentabilidad del agua y de los sectores que dependen del vital recurso (Rivera *et al.*, 2004).

La relación entre la demanda de agua del conjunto de actividades socioeconómica² y la oferta hídrica disponible en las

fuentes abastecedoras, ha sido abordada y desarrollada a nivel internacional conociéndose como índice de escasez hídrica. *“El índice de escasez puede ser aplicado desde a un simple tramo de río hasta una cuenca o región hidrológica y sólo la disponibilidad y la calidad de las mediciones hidrológicas determinan sus niveles de precisión y alcance”* (Rivera *et al.*, 2004).

En esta relación se considera la oferta como aquella cantidad de agua que ofrece la fuente del recurso superficial y subterránea, luego de haber tomado en cuenta la cantidad de agua que necesita el ecosistema para mantener su funcionalidad, elaborada a partir de la recopilación de los Balances Hídricos disponibles para cada cuenca. En tanto, la demanda de agua -que utiliza según la metodología internacional el consumo hídrico-, es entendida como el volumen total de agua dulce extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios en un espacio y tiempo determinado para producir bienes y servicios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo.

$$\text{Índice de Escasez Hídrica} = \frac{\text{Consumo Hídrico}}{\text{Oferta Hídrica}} \times 100 \%$$

* *Generadoras de Chile: “A juicio de Generadoras, para un mejor entendimiento de las dinámicas de la cuenca, la construcción de escenarios hídricos debiera fundamentarse en indicadores elaborados a partir de balances hídricos”.*

2. *La demanda de agua del componente ambiental, está incluida en la oferta hídrica, según ha sido definido en la metodología de oferta hídrica referencial.*

Para analizar los resultados de la aplicación del índice, un conjunto de organizaciones de las Naciones Unidas³ en colaboración con el Instituto de Estocolmo para el Medio Ambiente desarrollaron umbrales críticos que evalúan las distintas necesidades humanas, de ecosistemas, actividad productiva y demandas potenciales (OMM, 1997). De acuerdo con estos registros, se distinguen cuatro categorías (Tabla 1).





El índice de escasez hídrica fue llamado en esta Radiografía del Agua como “Brecha Hídrica”, el cual fue aplicado por las características que se detallan a continuación:

- Es una metodología robusta desarrollada y validada a nivel internacional por

entidades referentes en la temática con numerosas aplicaciones al día de hoy.

- Con la información existente y disponible en Chile es factible aplicarlo.
- Permite clasificar los territorios analizados por umbrales, diferenciándolos según grado de criticidad.
- Los umbrales consideran los efectos en las necesidades humanas, de ecosistemas, actividad productiva y demandas potenciales.
- Constituye un buen punto de partida para generar información clara que contribuya a perfeccionar los procesos de gestión del recurso hídrico con miras a enfrentar los retos planteados por el cambio climático y la constante intervención del recurso.

TABLA 1
CATEGORÍAS PARA EL INDICE DE ESCASEZ HÍDRICA

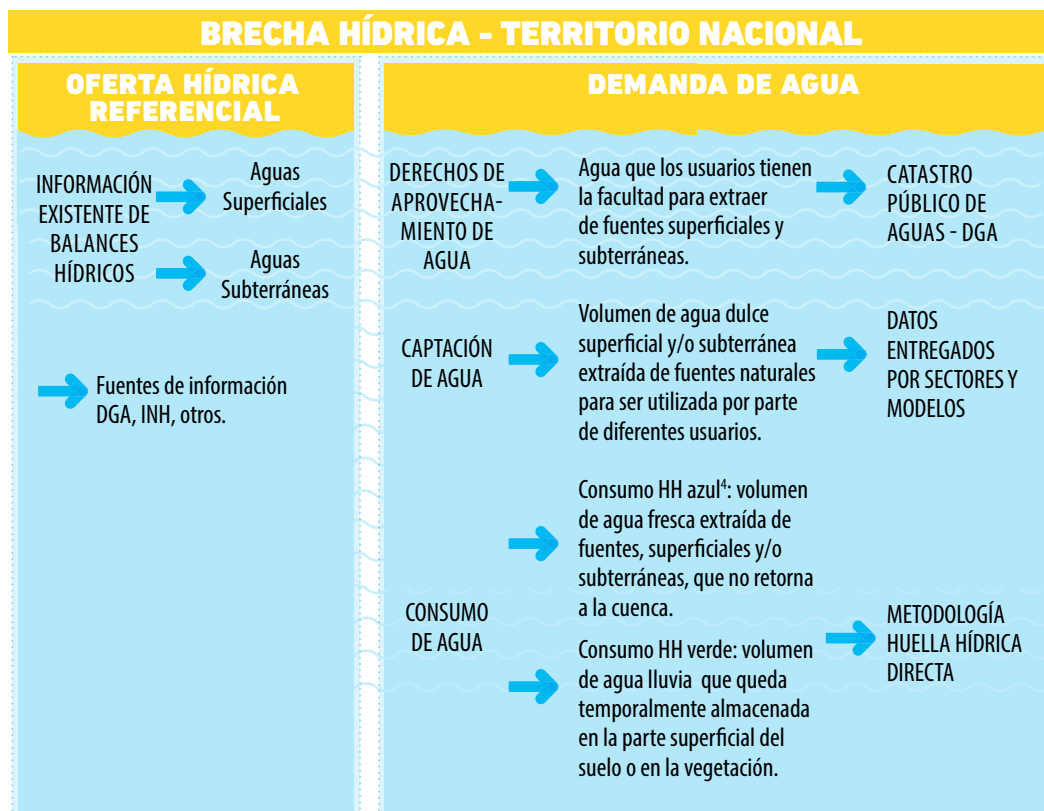
1. Índice Escasez hídrica	2. Porcentaje Oferta hídrica utilizada	3. Color	4. Explicación
ALTO	> 40 %		Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico.
MEDIO	20 – 40%		Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y 40% de la Oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos.
MODERADO	10 – 20%		Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo.
BAJO	<10%		No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico.

Fuente: Rivera et al., 2004. Basado en OMM, 1997.

3. El conjunto de organizaciones participantes incluyeron: Departamento de Coordinación de Políticas y de Desarrollo Sostenible de la Secretaría de las Naciones Unidas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el Banco Mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en colaboración con el Instituto de Estocolmo para el Medio Ambiente y con el asesoramiento de expertos en una amplia gama de temas.

La Oferta hídrica referencial y la demanda de agua, elementos centrales para determinar la Brecha Hídrica, se construyen de la siguiente forma:

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CAPAS



4. Consumo HH azul: este es el componente que, junto a la Oferta hídrica referencial se utiliza para determinar Brecha Hídrica.

3.2. OFERTA HÍDRICA REFERENCIAL

Con el objetivo de estimar la cantidad de agua disponible en Chile, denominada en esta Radiografía del Agua como la "Oferta Hídrica Referencial", se recopiló todos los estudios de balances hídricos existentes y actualizados de todas las cuencas hidrográficas de Chile, considerando las aguas superficiales y subterráneas.

La oferta hídrica superficial ha sido definida por Rivera (2004) como *"aquella porción de agua que, después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapo-transpiración e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar"*. Por otro lado, la oferta de agua subterránea es aquella almacenada en los acuíferos que son *"formaciones geológicas permeables capaces de almacenar, transmitir y proporcionar cantidades aprovechables de agua"* (OMM, 2012).

Dentro de los estudios incluidos en el análisis (Vargas, 2017. Elaborado para EH2030), destacan los balances hídricos existentes, los cuales en su mayoría consideran la oferta hídrica disponible incorporando sus usos por los diferentes usuarios, incluido el ecosistema a través del caudal ecológico.

- Diagnóstico plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta (DGA, 2012b).
- Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987).
- Diagnóstico plan maestro de recursos hídricos, Región de Tarapacá (MOP, 2012).
- Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama (DGA, 2014).
- Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama (DGA, 2013a).
- Diagnóstico plan maestro recursos hídricos Región de Coquimbo (DGA, 2013b).
- Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuencas del Río Elqui IV Región (DGA, 2003).
- Análisis de requerimientos de largo plazo en infraestructura hídrica (INH, 2016).
- Evaluación de los recursos hídricos superficiales de las cuencas de los ríos Petorca y La Ligua (DGA, 2006).
- Plan director para la gestión de recursos hídricos para la cuenca del río Aconcagua (DGA, 2001).
- Evaluación de los recursos subterráneos de las cuencas costeras de la V Región (DGA, 2005a).
- Actualización de la modelación hidrogeológica e integrada de los acuíferos de la cuenca del estero Casablanca (DGA, 2015).
- Estudio hidrogeológico cuenca del río Mataquito (DGA, 2012a).

- Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Loa, Rapel y Mataquito (DGA, 1996).
- Planes regionales de infraestructura y gestión del recurso hídrico al 2021- MOP.
- Atlas del Agua (DGA, 2016).

Para efecto de los valores utilizados, se debe contemplar que -para algunas cuencas- los documentos revisados no presentan el caudal medio, sino sólo se tiene estimaciones del caudal, con 50 y 85% probabilidad de excedencia (P_{ex}^5). Para el análisis se seleccionó el valor con 85% P_{ex}^6 , ya que corresponde al comúnmente usado en la evaluación de disponibilidad del recurso hídrico en Chile.

Aquí exponemos los principales resultados en materia de Oferta hídrica referencial; el análisis detallado se pueden encontrar en el anexo digital Radiografía del Agua: "Regiones" y "Estudio de Expertos".

3.3. DEMANDA HÍDRICA

En las actividades humanas el uso del agua es intenso, tanto para cubrir las necesidades básicas de tipo biológico y cultural, como para el desarrollo económico de la sociedad. Por ello, en la cuantificación de la demanda se integran las actividades que requieren en

mayor proporción el recurso hídrico en el territorio. Para efectos de la Radiografía del Agua los sectores que han sido incluidos en el análisis de demanda hídrica debido a su importancia a nivel nacional son: agrícola, minero, agua potable y saneamiento, industrial, forestal, generación eléctrica y pecuario.

La demanda hídrica del conjunto de actividades socio económicas es caracterizada en este documento con tres conceptos: Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA), captación de aguas y consumo de aguas⁷, cada uno con su metodología de análisis particular y que se describe en esta sección.

Tanto la captación como el consumo de agua fueron estimados en el estudio de Huella Hídrica Nacional (Jaramillo y Acevedo, 2017), realizado para Escenarios Hídricos 2030, a escala de comuna, debido a que las fuentes de información sobre las principales actividades productivas existentes a nivel país, que son el insumo base para el análisis, se dan a esta escala. Posteriormente, los resultados fueron llevados a escala de cuenca considerando la ubicación de los procesos productivos a nivel territorial, utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica (ver anexo digital "Estudio de Expertos"), con el objetivo de homologar con los análisis realizados de Oferta hídrica referencial y así poder compararlas en una misma escala territorial para el análisis de Brecha Hídrica.

5. *Pex*, Probabilidad de excedencia hidrológica: Medida probabilística basada en datos de una serie histórica, que permite distinguir las características hidrológicas de una cuenca. Es decir, es el valor que indica el porcentaje en el que los datos históricos registrados son iguales o mayores al que corresponde dicho valor (Glosario de Términos DOH).

6. Valores de caudal que se registran históricamente igual o mayor a un 85% de las veces.

7. Consumo de agua en su dimensión de HH azul directa, es el indicador utilizado para determinar, junto a la Oferta hídrica referencial, la Brecha Hídrica a nivel nacional.

a) Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA)

Con el objetivo de proporcionar una referencia de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) actualmente registrados y presentes en el mercado, y que otorga a los diferentes usuarios de agua la facultad para utilizar, gozar y disponer del recurso hídrico, en conformidad a lo establecido en el Código de Aguas, se levantaron los DAA consuntivos, de ejercicio permanente, tanto superficiales como subterráneos expresados en forma volumétrica y en acciones⁸, desde el Catastro Público de Aguas (CPA), de la Dirección General de Aguas, que tiene como fecha de última actualización el 13 de diciembre de 2017. Esto fue recopilado para cada una de las cuencas hidrográficas en Chile y los sectores usuarios identificados: riego, minería, agua potable y saneamiento, industrial, energía hidroeléctrica y otros usos/no especificados. Cabe señalar que según el “Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos en Chile” desarrollado por el Banco Mundial en el año 2011 *“este registro contaría con solamente 20% de los DAA legítimos”*, aspecto necesario de considerar en el momento de analizar los datos.

b) Consumo

El consumo de agua se determinó en base a la metodología internacional de Huella Hídrica desarrollada por Water Footprint Network⁹ y que ha sido ampliamente utilizada

a nivel mundial¹⁰ como una herramienta que permite estimar la cantidad de agua requerida para producir bienes y servicios en un área específica (país, cuenca, proceso, etc). Actualmente, el desarrollo del concepto ha ampliado su rango de aplicación, llegando a ser una herramienta complementaria a las convencionales para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en una cuenca (IICA, 2017), existiendo incluso un estándar internacional relacionado a la metodología, que permitiría generar información robusta y consistente para informar y mejorar el uso del agua en los sectores productivos, conocida como ISO 14046 Environmental Management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines¹¹.

La Huella Hídrica (HH) es un indicador que se define como “el volumen de agua fresca apropiada o no devuelta al sistema, tomando en cuenta los volúmenes de agua consumida y contaminada” (Hoekstra *et al.*, 2011).

La suma de las huellas hídricas azul, verde y gris nos entrega la Huella Hídrica total del área o sistema en estudio.

En este estudio el cálculo de la Huella Hídrica se realizó para siete sectores productivos del país: agrícola, minero, agua potable y saneamiento, industrial, forestal, generación eléctrica y pecuario. El análisis no incluye, por lo tanto, procesos naturales o no productivos que ocurren en los territorios estudiados

8. La mayoría de los DAA en el CPA se expresan en unidad volumétrica L/s. Sin embargo, hay un número importante de DAA que se expresan en acciones los que en general son destinados para uso en riego. Estos DAA deben ser analizados en forma separada y no pueden, por tanto, sumarse ya que poseen diferentes formas de disponer del recurso en el territorio.

9. Entidad fundada en el año 2008 por la Universidad de Twente (Países Bajos), WWF, UNESCO-IHE, World Business Council for Sustainable Development, International Finance Corporation, Netherlands Water Partnership and Water Neutral Foundation.

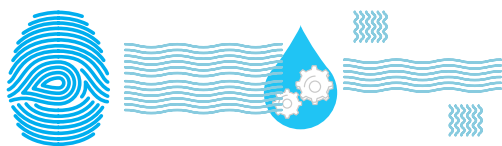
10. <http://waterfootprint.org/en/our-approach/projects/>

<http://waterfootprint.org/en/standard/research/>

11. <https://www.iso.org/publication/PUB100419.html>

FIGURA 4
HUELLA HÍDRICA

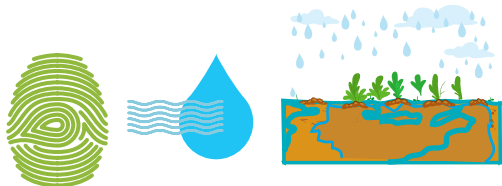
HUELLA HÍDRICA AZUL



La HH azul se refiere al volumen de agua fresca extraída de fuentes superficiales y/o subterráneas por parte de los diferentes usuarios, 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 descarga al mar.
- 4) Agua que retorna a la cuenca en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

HUELLA HÍDRICA VERDE



La HH verde se refiere al volumen de agua lluvia utilizada por los sectores que aprovechan esta fuente para riego, principalmente el agrícola y forestal. Esta agua queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo, la que se puede evaporar, evapotranspirar o incorporar en la vegetación.

Nota: Para efectos de la Radiografía del Agua, no se considera la Huella Hídrica Gris.

La HH gris es un indicador virtual del grado de contaminación del agua fresca. Se refiere al volumen de agua fresca que se requiere para asimilar la carga de contaminantes de una descarga hasta niveles acorde a los estándares ambientales.

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Jaramillo y Acevedo, 2017.

como, por ejemplo, parques nacionales y otros¹² (Jaramillo y Acevedo, 2017). Además, el análisis se basa en la evaluación del consumo directo¹³ de agua de las distintas actividades que se desarrollan en las comunas y cuencas en estudio. En el presente documento sólo se muestra el análisis de HH azul y verde directa¹⁴. Para conocer el análisis

detallado, todas las fuentes de información, las metodologías utilizadas y los análisis de Huella Hídrica gris ver el anexo digital “Estudio de Expertos”. La metodología de HH azul y verde utilizada para los diferentes sectores se describe resumidamente a continuación:

12. Debido a que el análisis se centra en la estimación del consumo de agua derivado de las principales actividades productivas se excluye del análisis toda la cobertura vegetal natural y los procesos que allí ocurren, como por ejemplo: bosques nativos, vegetación de páramos, praderas naturales u otras especies naturales.

13. Consumo directo de agua (o HH directa): se refiere al agua dulce consumida y contaminada asociada al agua utilizada en el proceso productivo. Es diferente del segundo componente de Huella Hídrica llamada agua virtual (o HH indirecta), que se refiere al agua dulce consumida y contaminada asociada a la cadena de suministro o insumos empleados en el proceso productivo (Hoekstra et al., 2011).

14. Para el análisis de calidad de agua de la presente radiografía, se aplicó el Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS) que entrega una información más completa que el análisis por HH gris.



• Sector agrícola-forestal

Para caracterizar al sector agrícola y forestal se utilizó la información publicada en el Censo Agropecuario Forestal (INE, 2007), ya que cuenta con el catastro de datos más actualizado disponible con cobertura para todo Chile en un mismo año, incluyendo toda la superficie agrícola. Además, la unidad geográfica de comuna en la cual se publican los datos es pequeña, lo que permite un mejor análisis. En base a esto, se consideran los siguientes subsectores: cereales, frutales (mayores y menores), hortalizas, cultivos industriales, forrajeras (anuales y perennes), semilleros, plantaciones forestales, eucaliptus y pino¹⁵. Para ajustar este análisis, este estudio podría ser actualizado cuando se publiquen nuevos censos agropecuarios forestales.

Las Huellas Hídricas azul y verde corresponden a la cantidad de agua consumida directamente por los cultivos, la cual es producto de la evapotranspiración directa del suelo, sumada a la transpiración del cultivo, y se denomina evapotranspiración (Martínez y Carvacho, 2011). La capacidad evapotranspiratoria de un cultivo va a estar determinada por las características propias del cultivo y las condiciones ambientales, entre las que tenemos: el tipo de suelo, disponibilidad de agua y manejo del cultivo.

La Evapotranspiración potencial de los cultivos, ET_c se determina mediante la siguiente fórmula:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Donde:

- ET_o corresponde a la Evapotranspiración de referencia, y

- K_c corresponde al Coeficiente de cultivo

La Evapotranspiración de referencia es un parámetro relacionado con el clima, y expresa la capacidad que tiene la atmósfera para evaporar el agua presente en el suelo (Allen *et al.*, 2006). Los valores utilizados para este parámetro ya se encuentran calculados en diversas fuentes, por lo que para este análisis se han obtenido desde el estudio "Evapotranspiraciones de referencia para la determinación de las tasas de riego en Chile" (Santibáñez, 2015).

Por otro lado, el Coeficiente de cultivo (K_c) es un valor adimensional que varía de acuerdo a las características del cultivo, siendo un valor específico para cada uno de ellos, los cuales han sido obtenidos de diversos estudios a nivel nacional, siendo el principal el estudio de FAO (Allen *et al.*, 2006).

Para el sector forestal, el cálculo de Huella Hídrica directa está definido por la humedad de suelo proveniente sólo de las precipitaciones efectivas (Huella verde). En este caso, no se considera la humedad interceptada por el bosque, por lo que la precipitación efectiva se calculó directamente de la lluvia.

15. Debido a que el análisis se centra en la estimación del consumo de agua derivado de las principales actividades productivas, se excluye del análisis toda la cobertura vegetal natural y los procesos que allí ocurren, como por ejemplo: bosques nativos, vegetación de páramos, praderas naturales u otras especies naturales.



Cabe destacar que hay un desconocimiento del consumo hídrico forestal, debido a que existen estudios aislados a zonas particulares y el sector no ha acordado un sistema para evaluar el consumo. Se carece de coeficientes de evapotranspiración locales para todos los tipos de bosque presentes en el país, por lo que se aplicó el coeficiente utilizado a nivel internacional¹⁶.



• Sector pecuario

Para caracterizar al sector pecuario, al igual que en el sector anterior, se utilizó la información publicada en el Censo Agropecuario Forestal (INE, 2007), debido a que es la única fuente de información pública que entrega el número de animales por comuna, simultáneamente, para todo el país. En base a esto, se consideran los siguientes subsectores: aves, bovinos, ovinos, caprinos y otros.

Este sector debe considerar el requerimiento directo de agua del animal, descrito en la Tabla 2: Estimación del requerimiento animal, que incluye el agua necesaria para la vida del animal, y la que es utilizada en el proceso

16. Según lo informado por la Corporación Nacional de la Madera (CORMA), se están realizando estudios para avanzar en este tema.

productivo (limpieza de establos). A esto se le resta el agua contenida en los purines de los animales por una unidad de tiempo definido (Tabla 3: Producción de purines líquidos). Dado que se está evaluando el uso directo, el análisis de los alimentos que consumen los animales no se considera, ya que ha sido cuantificado previamente en el sector agrícola. Para la estimación del requerimiento hídrico, se utilizaron valores estándar publicados por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) el año 2009, de los cuales se utilizaron valores promedio.

Para estimar la producción de desechos, se utilizaron valores recolectados de estudios de la Universidad de Purdue (Sutton *et al.*, 2001).

El cálculo de la Huella Hídrica azul se determinó como la diferencia entre el requerimiento de agua del animal y la producción de purines. En todos los casos, la Huella Hídrica azul del animal llega a ser despreciable en comparación a la fracción del agua que es devuelta y descargada como Residuo Industrial Líquido (RIL).

TABLA 2
ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO ANIMAL.

Fuente: USGS, 2009.















	L/animal/día
 Gallos, gallinas-pollos y pollas	0,2
 Pavos	0,4
 Ovinos	7,6
 Caprinos	7,6
 Bovinos	45,4
 Vacas Lecheras	132
 Cerdos	13,2

TABLA 3
PRODUCCION DE PURINES LIQUIDOS

Fuente: Sutton *et al.*, 2001.

	L/animal/día
 Gallos, gallinas-pollos y pollas	0,0001296
 Pavos	0,0003215
 Ovinos	0,0028317
 Caprinos	0,0028317
 Bovinos	0,0285202
 Vacas Lecheras	0,0914306
 Cerdos	0,0125785



• Sector agua potable y saneamiento

El sector agua potable y saneamiento se divide en dos grupos: rural y urbano. Las principales diferencias, fuera del número de personas atendidas, radica en el sistema de administración de uno y otro, la dotación de agua potable (L/hab/día) y el porcentaje de personas que cuentan con sistema de producción y distribución de agua potable, así como de recolección y tratamiento de aguas servidas.

La Huella Hídrica del sector agua potable y saneamiento considera en el análisis los procesos de extracción, potabilización, uso, tratamiento y descarga del agua a cursos superficiales o subterráneos y descarga al mar a través de los sistemas de emisarios submarinos.

Para el **análisis de la población urbana**, se contó con la información proporcionada por SISS, correspondiente al año 2015 mostrado en la Tabla 4. Es importante mencionar que los valores unitarios por persona, se calcularon en base a la población estimada y las coberturas que publica SISS, la cual

rige dentro de los territorios operacionales, áreas concesionadas dentro de las cuales prestan servicios las empresas sanitarias. En el caso que existiese población urbana fuera del área concesionada para prestar el servicio sanitario, donde no hay registros en la SISS, ésta se analizó en base a los datos del Censo de Población y Vivienda (INE, 2002).

Por otro lado, para el **valor de captación de la población rural**, se utilizaron los valores de dotación del Programa de Agua Potable Rural (APR) de la DOH publicada en el estudio "Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras" realizado por la DGA (2007) y que reporta valores del año 2005. Cabe destacar que este valor de captación sirve como insumo para determinar el consumo hídrico del sector rural (Huella hídrica azul). De ese modo, se pudieron determinar las tasas características de uso de agua.

Finalmente, para calcular la HH azul, tanto para la población urbana como rural, se aplica el estándar internacional del 10% sobre la facturación del agua para determinar el consumo¹⁷ por concepto de cocina, riego, lavado de ropa, evaporación en el riego de jardines y otros del mismo proceso. El 10% del consumo en el sector agua potable y saneamiento ha sido definido en el estudio de Hoekstra y Mekonnen, 2012.

17. Las pérdidas de agua en los sistemas de distribución y conducción de agua potable, no se consideran aguas consumidas ya que retornan al medio ambiente a través de infiltración en el suelo. Por lo tanto, son consideradas aguas de devolución.

TABLA 4

INFORMACIÓN SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO URBANO, PROPORCIONADA POR LA SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS (2015).

Información	Unidad física	Unidad territorial	Período	Comentario
Población abastecida urbana (estimada).	[habitantes]	Localidad	2015	Esta información se utilizó para calcular los valores unitarios por habitante.
Cobertura de servicios urbanos.	[%]	Localidad	2015	En el caso que existiese población urbana fuera del área concesionada para prestar el servicio sanitario, donde no hay registros en la SISS, ésta se analizó en base a los datos del Censo de Población y Vivienda (INE, 2002).
Volumen captado total.	[MMm ³ /año]	Regional	2015	El volumen fue asignado entre las distintas comunas en forma proporcional a la población abastecida.
Volumen facturado de agua potable por cliente.	[MMm ³ /año]	Comunal	2015	Se tomó como referencia para calcular la Huella Hídrica azul.
Volumen de aguas servidas tratadas en las plantas de tratamiento, tipo de tratamiento y cuerpo receptor.	[MMm ³ /año]	Comunal	2015	Se tomó como referencia esta información para calcular la Huella Hídrica gris. En este caso, el volumen total de aguas se asignó a cada habitante, pese a que en algunas oportunidades el volumen tratado era mayor que el facturado por los clientes.





• Sector industrial

Para caracterizar el sector industrial, se consideró la identificación de la Sección C "Industria Manufacturera" (INE, 2014). La industria manufacturera abarca la transformación física o química de materiales, sustancias o componentes en productos nuevos, aunque ese no puede ser el criterio único y universal para la definición de las manufacturas.

No existe información pública disponible para todas las actividades económicas clasificadas como Industria Manufacturera que permita determinar o estimar su uso y consumo de agua. Por otro lado, no todas las actividades económicas son intensivas en el uso y consumo de agua. Las fuentes de información utilizadas para la integración de los sub sectores provienen de diferentes entidades públicas y privadas¹⁸.

Los subsectores que han sido considerados en el análisis son los siguientes: agroindustria frutícola (fruta fresca/congelados/jugos), industria cárnica, industria láctea, industria de celulosa y papel, industria de vinos y cervezas.

La Huella Hídrica de cada industria corresponde al agua consumida y, por lo tanto, no devuelta al sistema. Su cálculo considera las entradas de agua desde las diferentes fuentes menos las salidas (aguas evaporadas, recirculadas, incorporadas en el producto y/o no devueltas al sistema dentro del período considerado en el estudio).

Para el cálculo de la Huella Hídrica azul de cada uno de los sectores, se utilizaron los modelos de huella de agua para sectores económicos¹⁹ (FCH, 2015) y otras fuentes²⁰. Cada modelo estima la Huella de agua, ya sea azul o verde (Volumen en [m³]), por cada unidad funcional de cantidad física de producto elaborado (Toneladas, Litros, Unidades, etc). Ver en mayor detalle el anexo digital "Estudio de Expertos".

18. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto Forestal (INFOR) y Corporación Chilena de la Madera (CORMA).

19. Los Modelos de Huella de Agua para Sectores Económicos se desarrollaron en el proyecto "Reporte Huella Hídrica en Chile, Sectores prioritarios de la cuenca del río Rapel" el que fue financiado por COSUDE y ejecutado por Fundación Chile en conjunto con la Dirección General del Aguas. A partir de este proyecto se publicó en el año 2016 la "Guía para la evaluación de huella hídrica productiva a nivel cuenca en Chile".

20. DGA, 2005b; boletines del INIA (<http://www.inia.cl/biblioteca-digital/boletines/7051/>), entre otros.



• Sector Minería

Para la caracterización del sector minero, dada la gran variedad de minerales metálicos y no metálicos que se producen en el país, se limitó el análisis a la producción de Cobre, Oro, Plata, Litio y Carbón. La información de consumo hídrico de la industria del cobre, se obtuvo directamente de estudios desarrollados por instituciones públicas y privadas relacionadas con el sector²¹.

Para el cálculo de la HH azul de cada uno de otros sectores, se utilizaron los Modelos de Huella de Agua para Sectores Económicos (FCH, 2015). Considera las entradas de agua a la mina y el agua requerida en los procesos de extracción y procesamiento del mineral desde fuentes superficiales y/o subterráneas. A lo anterior se restan aquellas aguas que salen del sistema en los distintos procesos (evaporadas, incorporadas en el producto y/o no devueltas al sistema dentro del período considerado en el estudio).

El principal supuesto del análisis de este sector se refiere a que, en este caso, la captación será igual al consumo (HH azul), debido a que -en la gran mayoría de los casos- no se reportan descargas de residuos líquidos formales a fuentes de aguas superficiales. Una excepción, donde la captación es distinta al consumo y existe devolución a cursos superficiales de agua, es la de Codelco División El Teniente que descarga de acuerdo al D.S 80/2006 que establece la norma de emisión para Molibdeno y Sulfatos de efluentes descargados desde tranques de relaves al estero Caren.



• Sector de generación eléctrica

En Chile están operando más de 100 centrales hidroeléctricas, considerando todos los tamaños y tipos de centrales (embalse y pasada). Existen pequeñas centrales que generan menos de 0,5 MW (como El Arrayán, operando en la comuna de río Bueno) y grandes represas como Ralco y Pehuenche, que generan 690 MW y 570 MW, respectivamente. Su ubicación se concentra en la zona de cuencas exorreicas de Chile y está vinculado a la extensión del SIC, por lo que disminuyen hacia el extremo sur.

De acuerdo a la metodología de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), en las centrales de embalse se produce un consumo debido a la evaporación de los espejos de agua. Ocurre lo mismo en los embalses que tienen otros destinos, como agua potable, riego o multipropósito (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

En las centrales de pasada también se podría producir un consumo de agua, dependiendo del diseño y localización de la central, pero se estima que su valor es despreciable.

21. COCHILCO, 2016.; DGA, 2005b; FCH, 2015; entre otras.

Por otro lado, en centrales termoeléctricas que utilizan vapor, el enfriamiento es el principal factor que explica el consumo de agua. La cantidad de agua requerida para enfriamiento depende del tamaño de la central, su eficiencia, la temperatura del agua en la captación, la elevación máxima de temperatura permitida en la descarga, y el tipo de sistema de enfriamiento utilizado, independiente del combustible utilizado (Ministerio de Energía, 2016). Menos del 1% del agua utilizada en las centrales térmicas a vapor, proviene de aguas continentales.

Para el cálculo de la evaporación potencial (volumen de agua consumida) del espejo de agua de los embalses (generación eléctrica, agua potable o riego), se utilizará la evaporación de referencia a partir de estaciones climáticas cercanas disponibles y la superficie del espejo de agua.

En el caso de las centrales térmicas, se utilizarán los coeficientes de demanda y consumo de agua por electricidad producida anual (m^3/MWh) estimados por el Ministerio de Energía (2014). La electricidad producida por cada central se obtiene de las estadísticas de la Comisión Nacional de Energía.



C. Captación

La captación de aguas se determinó a partir del cálculo generado de consumo de agua mediante la Huella Hídrica para cada sector. Este análisis permite determinar el volumen total de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por parte de diferentes usuarios para desarrollar sus actividades productivas. La diferencia entre la captación de agua y el consumo de agua permite estimar el volumen de agua devuelto al sistema²². Se realizaron diferentes consideraciones y supuestos para estimar la captación de agua por cada uno de los sectores en sus diferentes procesos productivos, los que se describen a continuación:



• Sector agrícola

El cálculo de la captación del sector agrícola se estimó considerando el requerimiento hídrico no cubierto por las precipitaciones (HH azul), el área regada total y la tecnología de riego utilizada por comuna.

Se utilizaron los factores de eficiencia de los tipos de riego sugeridos por el instructivo para la ejecución de proyectos de la Ley de Fomento al Riego, número 18.450; tal como se puede ver en la Figura 5.

FIGURA 5:
EFICIENCIAS DE ACUERDO A MÉTODOS DE RIEGO SUGERIDAS POR LEY DE FOMENTO AL RIEGO



Fuente : Elaboración propia, basado en DGA, 2007.

22. Devolución: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es retornada al sistema natural.



• Sector Pecuario

De acuerdo a lo descrito con anterioridad en la metodología de cálculo de consumo, este valor se considera como el agua necesaria para la vida del animal y aquella utilizada en el proceso productivo. Por lo tanto, para estimar la captación del sector pecuario, se consideró solamente el requerimiento hídrico de los animales, cuya determinación ha sido estipulada anteriormente en el análisis de consumo de dicho sector.



• Sector agua potable y saneamiento

Como se mencionó anteriormente, para el análisis del sector agua potable y saneamiento, se consideró tanto la población urbana como rural.

Para la estimación de la captación urbana, se contó con la información proporcionada por la SISS, la cual entrega el volumen captado total [MMm³/año] a nivel regional. Por otro lado, para estimar la captación necesaria para abastecer a la población rural, se utilizaron los valores de dotación de consumo para Agua Potable Rural (APR) publicados en el estudio realizado por la DGA (2007) que emplea información del Programa de APR de la DOH. Ambos valores han sido mencionados previamente en la descripción del cálculo de consumo.



• Sector Industrial

En el cálculo de captación en el sector industrial para los distintos subsectores, se utilizaron -al igual que en el caso de consumo- los Modelos de Huella de Agua para Sectores Económicos (FCH, 2015) y otras fuentes. Cada modelo estima la captación (Volumen [m³]), por cada unidad funcional de cantidad física producto elaborada (Toneladas, Litros, Unidades, etc).



• Sector Minería

Como se mencionó anteriormente, el principal supuesto del análisis de este sector se refiere a que la captación será igual al consumo (HH azul), debido a que -en la gran mayoría de los casos- no existen descargas de residuos líquidos a fuentes de aguas superficiales reportadas por parte de las mineras. Una excepción, donde la captación es distinta al consumo y existe devolución a cursos superficiales de agua, es la de Codelco División El Teniente que descarga de acuerdo al D.S 80/2006 que establece la norma de emisión para Molibdeno y Sulfatos de efluentes descargados desde tranques de relaves al estero Caren.

El detalle de este análisis, se encuentra en el anexo digital "Estudio de Expertos".



• Sector de generación eléctrica

Para la obtención de los volúmenes de captación de agua del sector hidroeléctrico, se utilizan los datos de potencia horaria del período julio 2014 – junio 2015 del Centro de Despacho Económico de Carga - Sistema Interconectado Central (CDEC -SIC) proporcionados por el Ministerio de Energía y Generadoras de Chile. En ellos se seleccionan las centrales que poseen embalses, que son los mismos utilizados para realizar el cálculo de consumo.

Disponiendo de los datos de potencia horaria, es posible calcular el caudal horario turbinado aplicando la ecuación básica de la hidroelectricidad. Para efectos de este documento, bajo una condición de estado estacionario, el caudal turbinado será el valor de devolución de agua al sistema²³ y la suma de éste con el consumo la captación de agua desde el sistema²⁴.

La ecuación utilizada (Ministerio de Energía, 2015) fue la siguiente:

$$P = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot \Delta H$$

Donde:

- P** es la potencia generada en Watt
- η** es la eficiencia de la generación, adimensional
- γ** es el peso específico del agua, 9810N/m³
- Q** es el caudal turbinado en m³/s
- ΔH** es la altura de caída en m

Reordenando la ecuación:

$$Q = \frac{P}{\eta \cdot \gamma \cdot \Delta H}$$

Donde:

$$R = \eta \cdot \gamma \cdot \Delta H$$

En este caso, para las centrales que se están presentando, el valor de rendimiento de las centrales lo informa el CDEC-SIC; por lo tanto, teniendo el valor de la potencia (P) y de rendimiento (R), es posible calcular directamente los caudales turbinados horario (Q), bajo el supuesto que la variabilidad de R es baja en comparación con la de los caudales.

Cabe señalar que el análisis de captación fue desarrollado por el proyecto de Escenarios Hídricos 2030 con la información y metodologías proporcionadas y recomendadas por el Ministerio de Energía y Generadoras de Chile. Éste permitirá entregar en forma oportuna un análisis inicial referencial importante de la demanda de agua en todo el país de parte del sector que hasta la fecha de este análisis no estaba disponible.

23. Devolución: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es retornada al sistema natural.

24. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por parte de diferentes usuarios. Para el caso del sector de generación eléctrica (hidroeléctricidad) se calcula como la suma de la HH Azul y la devolución de agua (caudal de agua turbinado).

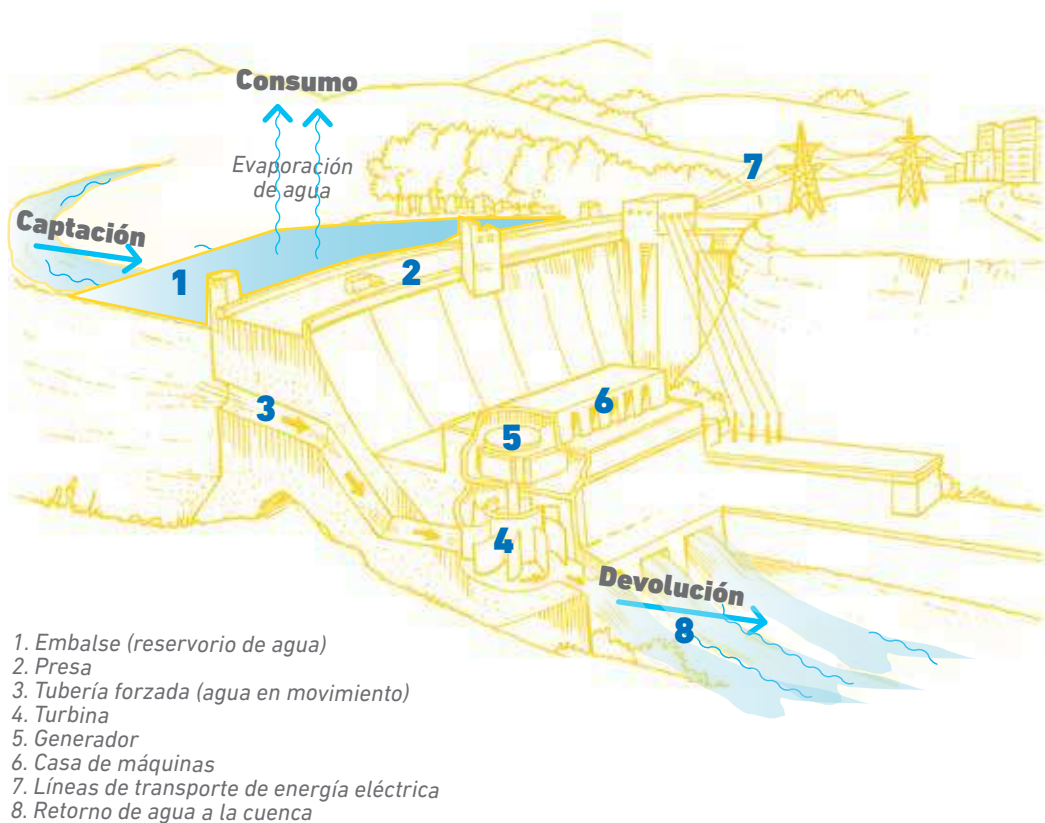
FIGURA 6
CAPTACIÓN, CONSUMO Y DEVOLUCIÓN DE AGUA EN UNA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE EMBALSE

Grandes represas como
Ralco y Pehuenche generan

690 MW y 570 MW
respectivamente.

Pequeñas centrales que generan

0.5 MW.



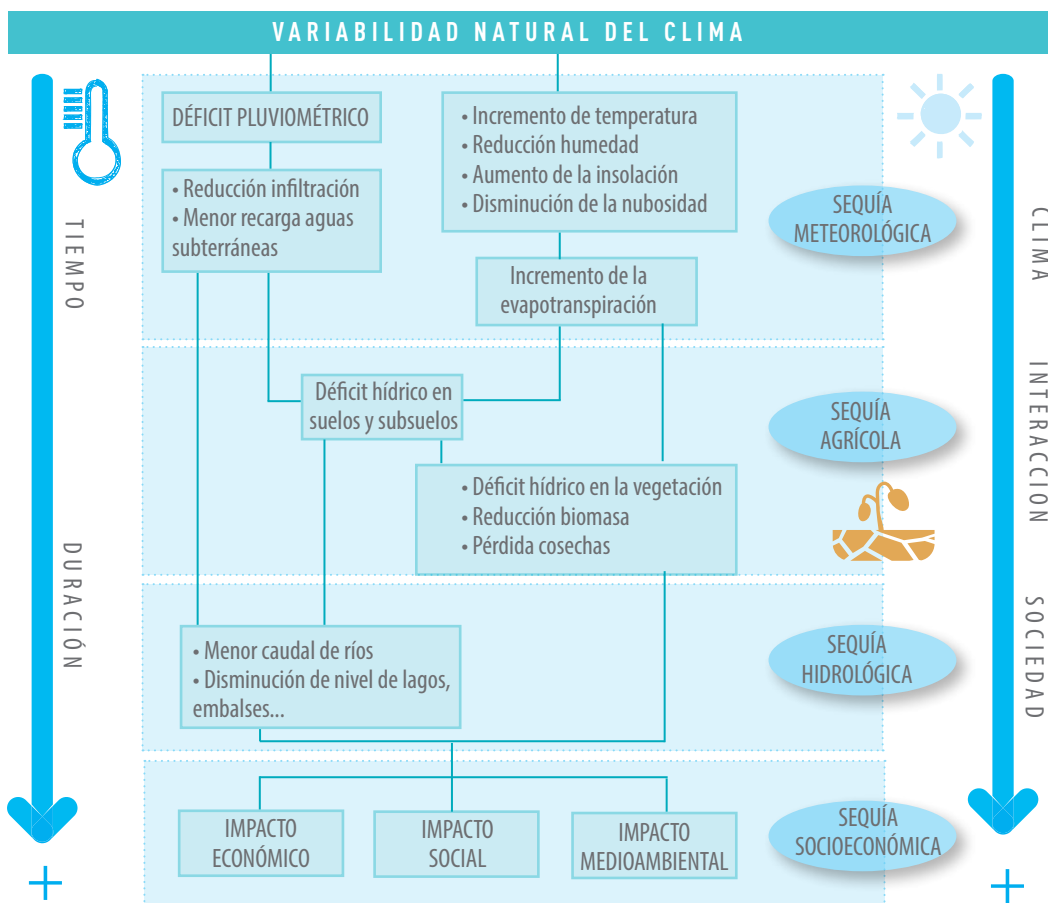
Fuente : Elaboración propia, Escenarios Hídricos 2030.

3.4. RIESGO HÍDRICO

Es importante considerar los efectos que producen los cambios que se están evidenciando en los parámetros climáticos. La Figura 7 muestra la secuencia de evolución en el tiempo de los diversos tipos de sequía operacional. Según Marcos (2001), la primera manifestación de la

sequía es la meteorológica que presenta desviaciones en los factores climáticos, principalmente las precipitaciones. La sequía agrícola se manifiesta poco tiempo después de una sequía meteorológica, y la sequía hidrológica puede demorarse meses desde el inicio de la escasez pluviométrica o, si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse. En términos

FIGURA 7
SECUENCIA DE EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LOS DIVERSOS TIPOS DE SEQUÍA OPERACIONAL



Fuente: Elaboración propia, basado en Marcos, 2001

generales, la sequía socioeconómica sucede a la agrícola; esto se da en regiones menos desarrolladas, donde este sector tiene un mayor peso en la economía y su incidencia es más directa e inmediata que en regiones desarrolladas (Mehran *et al.*, 2015).

Ante este escenario la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en el año 2017 menciona que Chile debe *“prepararse ante los desastres naturales; gestionar los riesgos derivados del exceso o la falta de agua o de su contaminación”*.

Identificar los territorios vulnerables donde existen potenciales amenazas a las personas, al medio ambiente y al desarrollo productivo del país constituye un primer paso para la identificación de soluciones óptimas y proyectar las principales oportunidades para el futuro del país.

La Real Academia Española define “riesgo” como “contingencia o proximidad de un daño”. El riesgo es la posibilidad de que un daño ocurra (cualitativo) vinculado a la

vulnerabilidad. Muchas veces el riesgo se confunde con la amenaza, pero en realidad este último es la probabilidad de daño (cuantificable) vinculado a la factibilidad de ocurrencia. En resumen, el riesgo es una consecuencia de la amenaza.

El concepto de Riesgo Hídrico es muy incipiente a nivel mundial, por lo que no existe aún una metodología conocida y validada para su aplicación y análisis.

Para efectos de la iniciativa EH2030, se entenderá por Riesgo Hídrico a la posibilidad de ocurrencia de un daño económico, social y/o ambiental en un territorio y período de tiempo determinado, derivado de la cantidad y la calidad de agua disponible para su uso. En esta Radiografía del Agua, el análisis de Riesgo Hídrico se ha centrado en las siguientes variables:

- Déficit hídrico
- Exceso de agua
- Calidad de agua

Para efectos de la iniciativa EH2030, se entenderá por Riesgo Hídrico a la posibilidad de ocurrencia de un daño económico, social y/o ambiental en un territorio y período de tiempo determinado, derivado de la cantidad y la calidad de agua disponible para su uso.

RIESGO HÍDRICO - TERRITORIO NACIONAL

DÉFICIT HÍDRICO

SPEI → Balance Precipitaciones y Evapotranspiración (indicador de déficit meteorológico)

NIVELES DE POZOS → Tendencia en niveles de aguas subterráneas.

TENDENCIA CAUDALES → Tendencia en caudales de aguas superficiales.

GLACIARES → Balance de masa y retroceso areal y frontal de glaciares.

EXCESO DE AGUA

INUNDACIONES → Inundaciones, lluvias y avenidas torrenciales.

ALUVIONES → Flujo de agua con arrastre de material por ladera, quebrada o cause.

TSUNAMIS → Onda oceánica generada por perturbaciones asociadas principalmente a sismos.

CALIDAD DE AGUA

INDICE CALIDAD DE AGUAS → Calidad de aguas para diferentes usos

PARÁMETROS CONSIDERADOS:

Parámetros generales: Oxígeno Disuelto, pH, DQO, Conductividad Eléctrica.

Parámetros críticos: Arsénico, Cadmio, Cromo (VI), Cobalto, Níquel y Plomo
Parámetros no críticos: Cianuro, Cobre, Fluoruro, Mercurio, Molibdeno disuelto, Nitrato, Nitrito, Plata y Selenio.



3.4.1. Déficit Hídrico

El déficit hídrico se presenta cuando la demanda supera la oferta de agua, sin estar necesariamente relacionado 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 (Fernández, 1999. Citado en Aldunce *et al.*, 2007).

En la determinación del déficit hídrico participaron investigadores del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2²⁵, el Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)²⁶, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IIT) de la Universidad de Concepción y la Universidad de Chile (Ver expertos en capítulo anterior).

El análisis de tendencia de déficit hídrico fue determinado mediante cuatro componentes: Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y variación en: niveles de pozos, caudales superficiales y glaciares. Para mayor detalle, ver anexo digital "Estudio de Expertos".

Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI)

Un grupo de investigadores del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia- CR2, desarrolló el análisis de SPEI a lo largo de Chile, el que corresponde a un índice de sequía meteorológica, basado en datos climatológicos satelitales de la NASA, que permite hacer un balance hídrico entre la diferencia de datos de las precipitaciones (P) y la evapotranspiración potencial (ETP) de la cobertura vegetal²⁷, en una escala de tiempo determinada (i). Luego, los datos de déficit hídrico son ajustados usando una distribución de Peason III y estandarizados utilizando "inverse normal function", para obtener el índice SPEI lo cual es explicado en detalle en Vicente-Serrano *et al.*, 2010, citado por Galleguillos *et al.*, 2017.

$$\text{SPEI Déficit Hídrico} = P_i - \text{ETP}_i$$

El estudio permite determinar la magnitud de los eventos de sequías acumulados durante el período de análisis, con respecto a las condiciones normales en las cuencas de Chile²⁸, identificando sus tendencias y anomalías en los últimos 15 años (2000-2014)²⁹, en función del comportamiento de la precipitación así como la evapotranspiración

25. CR2 es un centro de excelencia Fondap patrocinado por la Universidad de Chile y en asociación con la Universidad Austral y Universidad de Concepción.

26. Es el único centro del agua UNESCO Categoría 2 en Chile, cuyo objetivo es fortalecer el desarrollo técnico, social y educacional de la Región de ALC sobre la base de un aprovechamiento y una gestión mejorados de los recursos hídricos en las zonas áridas y semiáridas.

27. La cobertura vegetal incluye plantaciones agrícolas y forestales, así como la vegetación nativa a lo largo de Chile.

28. Aplicado a cuencas mayores a 100 km².

29. Si bien los datos satelitales de la NASA se encuentran disponibles desde el año 2000, los resultados obtenidos en la aplicación de SPEI, son coincidentes con otros estudios tendenciales realizados en el país respecto al aumento de temperatura y disminución de precipitaciones (MMA, 2016; CR2, 2016).

potencial, cuyo efecto y variabilidad temporal se ha visto incrementado producto del aumento de la temperatura del aire como causa del calentamiento global (Vicente-Serrano *et al.*, 2010b. Citado por Galleguillos *et al.*, 2017).

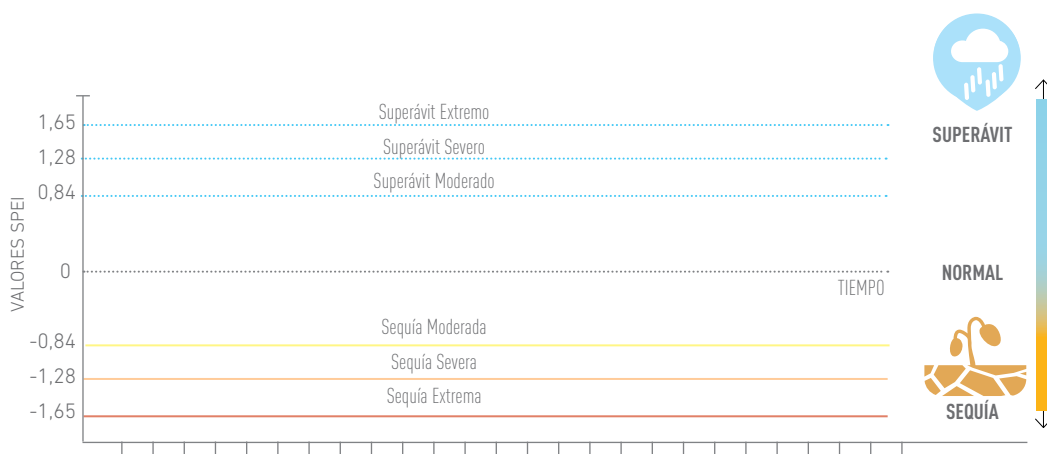
En algunas cuencas de la zona norte con una superficie mayor a 100 km², no se aplicó el SPEI, dado que son áreas desérticas con escasas lluvias y desprovistas de vegetación.

Como insumos para la evaluación espacio-temporal del déficit hídrico, fueron utilizados productos satelitales CHIRPS V2 (Funk *et al.*, 2015) para precipitación, con una resolución espacial de 0.05° entre los 50°N hasta los 50°S (para todas las longitudes) con más de 30 años de datos de precipitación (1981-2016) y MOD16 para evapotranspiración potencial, a una resolución espacial de 1 km (es decir, 1 km²).

Sobre la serie temporal considerada para el análisis, se determinó la "Magnitud del SPEI", que es la suma ponderada de la intensidad de los eventos en los 15 años analizados. Esta magnitud fue calculada considerando tres umbrales, de acuerdo con la intensidad del evento. Los umbrales definidos son los que se muestran en la Figura 8.

Los valores que se encuentran entre 0,84 y -0,84 son considerados como un estado meteorológico normal. Los valores de SPEI que se ubican entre -0.84 y -1,28 son considerados como sequía moderada; valores entre -1.28 y -1,65 son clasificados como sequía severa; valores inferiores a -1.65 son sequías extremas (Agnew, 2000). Los valores mayores a cero son considerados como superávit, según muestra la Figura 8.

FIGURA 8
UMBRALES DE SEQUÍA METEOROLÓGICA SEGÚN EL ÍNDICE SPEI

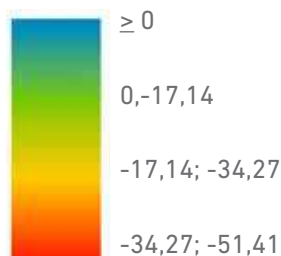


Fuente: Elaboración propia, basado en Galleguillos *et al.*, 2017.

En el mapa de SPEI que se elaboró y que se muestra en el capítulo 4 de Resultados (4.2.1), cada pixel tiene una "magnitud SPEI" que es la suma ponderada de los tres umbrales en el tiempo de estudio (15 años), donde cada pixel se compara con sí mismo. Los resultados finales se muestran con una paleta de colores que se degradan desde el azul (valores iguales o mayores a cero) hasta el rojo, con valores que van de 0 a -51,41. Los colores rojos identifican las zonas con mayor sequía meteorológica (zonas más críticas), donde se presenta una mayor variabilidad entre las precipitaciones y la evapotranspiración potencial de la cobertura vegetal.

Más detalles sobre la metodología se incluyen en el anexo digital "Estudio de Expertos".

FIGURA 9
CLASIFICACIÓN SOBRE MAGNITUD SPEI



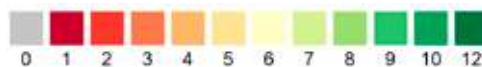
Fuente: Elaboración propia, basado en Galleguillos et al., 2017.

Indicador de déficit hídrico en aguas subterráneas de Chile

Este estudio fue elaborado por investigadores del CAZALAC y UNESCO, con el objetivo de realizar un análisis de riesgo de déficit hídrico en aguas subterráneas, mediante el estudio de tendencias de las series históricas de mediciones en pozos en todas las regiones de Chile entre los años 1960 y 2016.

Para el análisis de tendencia en los niveles de pozos, se utilizaron los datos de las estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA) existentes a nivel nacional. Para proporcionar un resumen claro y comprensible de la disponibilidad de pozos y además tener una idea de la calidad de la información proporcionada por ellos, representando sus series temporales, se usó la herramienta "mapa de calor" (conocido en inglés como "heatmap"), construyendo un mapa de este tipo para cada región del país. El máximo de mediciones por año es 12, ya que se considera una medición por mes. La escala de color que se utiliza para los mapas de calor está visualizada en la Figura 10.

FIGURA 10
VISUALIZACIÓN DEL NÚMERO DE MEDICIONES POR AÑO EN NIVELES DE POZOS



(Más detalles en anexo digital Regional)

Fuente: Elaboración propia, basado en CAZALAC, 2017.

El SPEI es un índice de sequía meteorológica que permite hacer un balance hídrico entre las precipitaciones y la evapotranspiración potencial de la cobertura vegetal, en una escala de tiempo determinada.

Los criterios definidos para la selección de estaciones y su posterior análisis de tendencia se muestran a continuación.

- El período del registro debe cubrir por lo menos 10 años.
- La última medición del registro debe ser del año 2010 o más reciente.
- El registro no puede contener períodos sin datos de dos o más años.
- El porcentaje de fechas sin dato (NA), en relación con el total de datos del registro, no puede exceder el 50%.

A continuación, se muestra la clasificación realizada de acuerdo con su tendencia global (años 1960 a 2016) y post 2000 (años 2000 a 2016), tanto para tendencias positivas como negativas. Se decide si la tendencia es o no significativa mediante

FIGURA 11
CLASIFICACIÓN DE DÉFICIT HÍDRICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

	Rojo	Tendencia negativa significativa ($p < 0,01$).
	Amarillo	Tendencia negativa no-significativa ($p < 0,01$).
	Verde	Tendencia positiva no-significativa ($p < 0,01$).
	Azul	Tendencia positiva significativa ($p < 0,01$).

Donde el valor de “p” representa la incertidumbre que existe frente a la conclusión existente (1%).

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

Fuente: Elaboración propia, basado en CAZALAC, 2017.

el test de Mann Kendall (Gilbert, 1987; Kendall, 1975; Mann, 1945), con una certeza de un 99% en los resultados (Figura 11).

Con el objetivo de aclarar ciertos conceptos, se debe decir que cuando se menciona que existen resultados “estadísticamente significativos”, quiere decir que es altamente factible que ocurra lo que se está mostrando. Por el contrario, los resultados “no significativos” corresponden a aquellas tendencias que tienen una probabilidad mayor de cambiar su pendiente.

Se debe destacar que los resultados mostrados en el presente documento se obtuvieron utilizando registros con un máximo de 50% de datos faltantes y al menos 10 años de registro. Si bien existen estudios que han usado similares criterios -ya identificados en el informe- (Panda *et al.*, 2012; Sishodia *et al.*, 2016), hay que tener en cuenta que este tipo de característica incrementa la variabilidad en los resultados. Más detalles en anexo digital “Estudio de Expertos”.

Tendencia de caudales

La tendencia en la reducción de precipitaciones en Chile, tanto de agua lluvia como nieve en los últimos años y su potencial consecuencia sobre nuestras principales reservas de agua, ponen en alerta a los diferentes usuarios de este recurso.

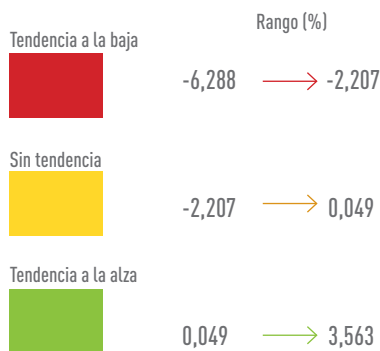
Es por esto que el presente estudio desarrollado por la Universidad de Concepción, analiza la tendencia histórica de los caudales de aguas superficiales, con el objetivo de identificar zonas con potencial déficit hídrico por este componente.

El estudio se realizó considerando los datos disponibles entre los años 1960 y 2016, en las estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas (DGA). Dentro de los criterios aplicados para el análisis destacan:

1. Se excluyeron estaciones fluviométricas ubicadas en canales de riego, debido a que su régimen de caudales es controlado.
2. Se seleccionaron estaciones con, al menos, 20 años de información fluviométrica, las cuales no necesariamente deben ser continuas y recientes. Se da flexibilidad en este criterio, debido a que no existen datos continuos y recientes en el número total de estaciones fluviométricas en el territorio nacional.
3. Se consideró el caudal medio anual³⁰ como una forma de normalizar los datos para determinar la tendencia de los caudales superficiales, en un periodo de mediciones de, al menos, 20 años.
4. Para calcular el caudal medio anual, se establece que un año es válido con, al menos, 11 meses de datos fluviométricos; si no se cumple con esta condición, se anula la estación y no se desarrolla análisis para ese año.

La clasificación según la pendiente normalizada se basa en rupturas naturales, agrupando de mejor forma los valores similares y maximizando las diferencias entre cada clase. El resultado de la clasificación propuesta es el siguiente:

FIGURA 12
CLASIFICACIÓN DE TENDENCIA DE CAUDALES SUPERFICIALES DE AGUA



Fuente: Elaboración propia, basado en Vargas, 2017.

En esta clasificación, el color rojo indica una "tendencia a la baja" de los caudales superficiales, el color amarillo posee una variación menor que se clasifica como "sin tendencia" y el color verde identifica una "tendencia al alza" de los caudales superficiales.

Más detalles de la metodología se puede revisar en anexo digital "Estudio de Expertos".

30. Valores promedio de los 12 caudales medios mensuales (para cada año).



Paola Matas Lizana / Glaciar Grey, Región de Magallanes

Variación de Glaciares

Los glaciares son una parte fundamental del análisis. Su relevancia estratégica radica en que son las principales reservas de agua dulce en el planeta y forman parte importante de los sistemas hídricos en nuestro país.

Con el objetivo de analizar su situación actual en Chile, se realizó un proceso de revisión y síntesis de documentos existentes, relacionados con el estado de situación de los glaciares en nuestro país, incluyendo estudios de balance de masa y variaciones de superficie areal y frontal (DGA, 2011), donde se especifican los glaciares que se encuentran en retroceso y avance.

Esta recopilación de información fue desarrollada por Nicol Barriga, en el trabajo de práctica profesional: "Estudio de Vulnerabilidad de Glaciares en Chile", bajo la supervisión y guía de Pablo Sarricolea, Universidad de Chile.

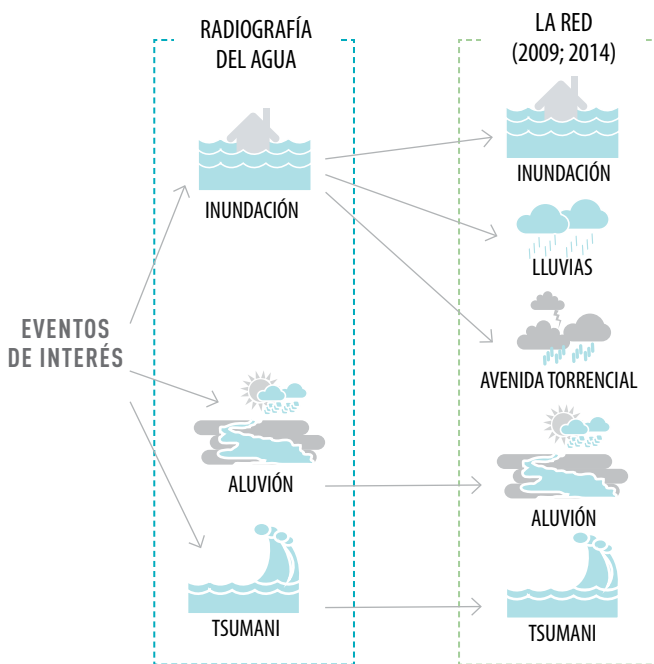
3.4.2. Exceso de Agua

El segundo criterio para determinar el Riesgo Hídrico corresponde a Exceso de agua, el cual 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.

El trabajo desarrollado por ERIDANUS, consistió en levantar los desastres asociados a inundaciones, aluviones y tsunamis (ver Figura 13) del año 1912 a 2017, utilizando como base de información la plataforma "LA RED" (2009), SERNAGEOMIN (2017) y registros en medios de prensa escritos.

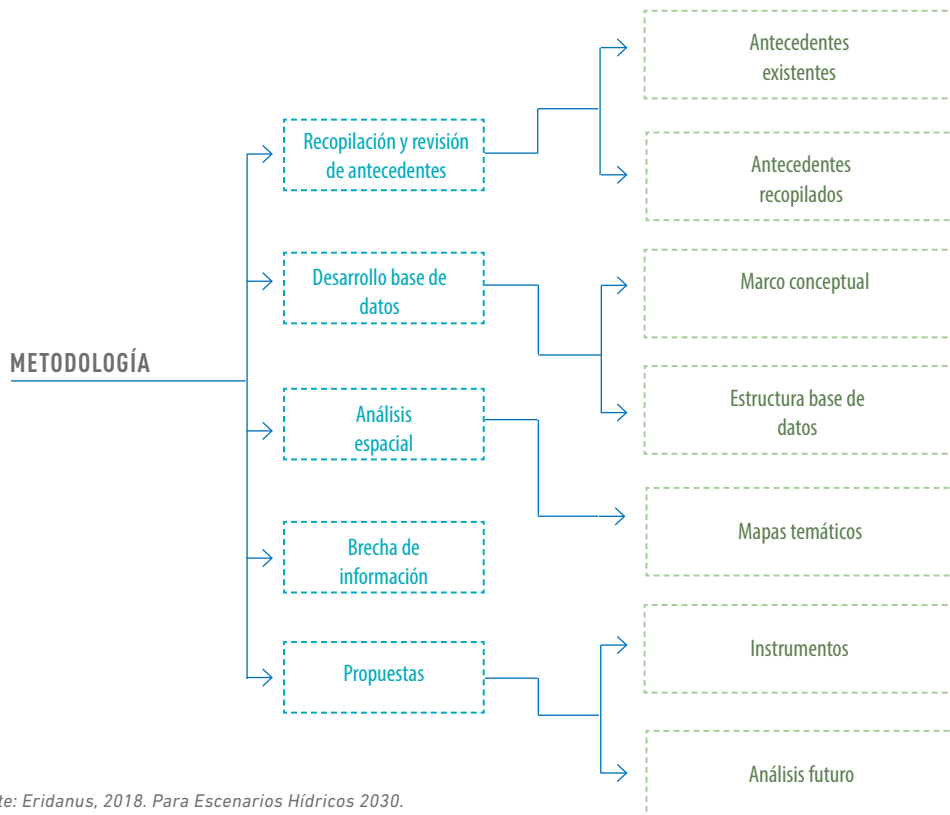
Con esta información disponible, se generó una base de datos de acuerdo a la metodología que se presenta en la Figura 14. El marco espacial utilizado para la elaboración de la base de datos corresponde al territorio chileno en su totalidad, desagregado a nivel comunal. Se ha propuesto considerar la división política comunal como la escala mínima de trabajo, considerando además que ésta corresponde a la unidad administrativa de respuesta más cercana e inmediata a cualquier clase de desastre.

FIGURA 13
NOMENCLATURA DE
LOS EVENTOS DE
EXCESO HÍDRICO



Fuente: Elaboración propia, basado en Eridanus, 2018.

FIGURA 14
METODOLOGÍA PARA CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA EXCESO DE AGUA



Fuente: Eridanus, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

Además, la base de datos considera una serie de variables que permiten caracterizar los eventos, dentro de los cuales se pueden mencionar:

- Tipo de evento (aluviones, inundaciones y tsunami).
- Fecha y lugar donde ocurre el evento (región, provincia y comuna).

- Efectos tales como: muertes, damnificados, daños en infraestructura, entre otros.

La mayor fortaleza de la base de datos es que sistematiza información nacional de desastres en un determinado tiempo y espacio, permitiendo el levantamiento de información y múltiples análisis entre los años 1912 y 2017. Esta información también fue llevada al Sistema de Información Geográfica (SIG), para ver los principales resultados a nivel espacial.

3.4.3. Calidad de Agua

El tercer criterio para determinar el Riesgo Hídrico es la calidad de agua, que en la Radiografía del Agua se midió a través del Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS). Este índice es una herramienta que entrega información de la calidad de agua de manera simplificada, englobando en un solo factor aquellos parámetros más importantes que puedan incidir en la afectación de la calidad de agua.

El objetivo del ICAS es identificar, según la calidad de agua disponible en las cuencas, los diferentes usos que ésta puede tener y qué limitaciones genera para el desarrollo. Con ello, será posible entregar una evaluación preliminar de la calidad de agua superficial en Chile para diferentes usos, independiente si el origen de la afectación corresponde a factores antrópicos o naturales.

Es importante señalar que el ICAS complementa los instrumentos hoy existentes (Normas Secundarias de Calidad Ambiental) y, por lo tanto, no se recomienda su uso como referencia nacional para otros fines.

La aplicación del Índice de Calidad de Aguas Superficiales se realizó teniendo en cuenta un promedio quinquenal por estación del año. Es decir, se obtuvo de acuerdo a la disponibilidad de datos, un ICAS para cada una de las estaciones de monitoreo para invierno, primavera verano y otoño, para el período correspondiente a los años 2006 – 2011, y otro que contempló las distintas estaciones para el período entre el 2011 y el 2016.

Para la construcción del índice se definieron “clases de calidad” con rangos de valores, así

como también los criterios de normalización para los parámetros usados. En este contexto, se propusieron cuatro clases de calidad definidas de la siguiente manera:

Excepcional: enfocada a la protección de vida acuática y de ecosistemas principalmente. Las aguas que se encuentren en esta clase no afectan la salud humana y cumplen con criterios de aceptabilidad del agua potable.

Buena: las aguas que se encuentren en esta clase son adecuadas para riego y desarrollo de la acuicultura.

Regular: agrupa las aguas consideradas aptas para uso recreativo, consumo animal y riego con restricciones.

Insuficiente: comprende las aguas no aptas para la conservación de ecosistemas acuáticos, ni para el aprovechamiento en usos prioritarios sin un tratamiento adecuado.

FIGURA 15
CLASES DE CALIDAD DEL ICAS



Fuente: Elaboración propia, basado en Girardi et al., 2018.



Cabe señalar que en los casos donde se presenta una calidad regular e insuficiente por concentraciones naturales del agua, pueden existir organismos (flora y fauna nativa) adaptados a estas condiciones.

Estas clases se definieron a partir de la integración de metodologías como la Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas (CONAMA, 2004); las normas canadienses para la protección de vida acuática, uso agrícola y consumo animal (CCME, 1999); la norma francesa de calidad de agua (Senado Francia, 2012) y la norma mexicana de calidad de agua (León, 1998). Adicionalmente, los valores son comparados con otras normativas nacionales e internacionales, incluyendo la

NCh 409, la NCh 1333 y la norma de calidad de agua de la FAO (Ayers y Westcot, 1985).

A partir de las normativas descritas anteriormente, se desarrolló la metodología para el cálculo del Índice de Calidad para Aguas Superficiales a nivel nacional. Se analizaron las bases de datos entregadas por la Dirección General de Aguas (DGA) que incluye datos de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales desde 2006 hasta 2016, siendo la base para determinar los parámetros seleccionados:

Parámetros generales:

Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, DQO y pH. Estos parámetros entregan información general acerca de la calidad de las aguas y son monitoreados en todas las estaciones en línea de la DGA.

Parámetros complementarios:

Conformado por un total de 15 parámetros, de los cuales seis son considerados críticos (Arsénico, Cadmio, Cromo Hexavalente, Cobalto, Níquel y Plomo), por su toxicidad y riesgo comprobado de generar cáncer por mecanismos similares en seres humanos y/o animales. También se incluye el Nitrito y Nitrato, principalmente por ser indicadores de eutrofización en cuerpos de agua; sin embargo, los datos disponibles en Chile no son suficientes para este tipo de análisis. Los

otros parámetros considerados son Cianuro, Cobre, Fluoruro, Mercurio, Molibdeno, Plata Y Selenio, cuyos registros están en la mayoría de las estaciones y con un alto grado de representatividad temporal. En este contexto, se seleccionaron aquellos parámetros que cumplen con la condición de ser medidos por la DGA y que además son parte de los grupos 1 y 2 de la International Agency for Research on Cancer (IARC) <https://www.iarc.fr/>.

La comparación y valoración de los parámetros definidos como generales y complementarios fueron normalizadas para ser valorados e integrados al índice final de calidad.

Para mayor detalle en el cálculo del ICAS puede consultar anexo digital "Estudio de Expertos".

El objetivo del Índice de Calidad de Agua Superficiales (ICAS) es identificar, según la calidad de agua disponible en las cuencas, los diferentes usos que ésta puede tener y qué limitaciones genera para el desarrollo.



4. RESULTADOS: LA MEMORIA DEL AGUA

4.1. BRECHA HÍDRICA NACIONAL

4.1.1 Heterogeneidad en la oferta hídrica

De acuerdo al análisis de oferta referencial desarrollado, que utiliza los estudios de balances hídricos de mayor actualización existentes al año 2016, detallados en la sección 3.2, se observa que el agua disponible en las diferentes cuencas hidrográficas varía y presenta una heterogeneidad importante, tal como se ha establecido en otros reportes (DGA, 2016; Ministerio del Interior, 2015; MOP, 2013; Banco Mundial, 2011). La oferta hídrica superficial y subterránea del recurso aumenta conforme se avanza desde el norte hacia el sur del país, en un rango que varía entre 0,01 m³/s en algunas cuencas de la zona norte y 3.480 m³/s en una cuenca de la zona austral en la Región de Aysén.

Cabe señalar que la DGA se encuentra actualizando el Balance Hídrico Nacional del año 1987, cuyos resultados finales se estiman estarán disponibles en 2019. Esta fuente de información permitirá actualizar tanto la oferta hídrica superficial y subterránea a nivel nacional aquí reportada, como el análisis territorial de Brecha Hídrica en las cuencas hidrográficas.

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 (Región de Arica y Parinacota, 1,11 m³/s), fronteras Salar Michincha- río Loa (Región de Antofagasta, 1,04 m³/s), fronteras salares Atacama- Socompa (Región de Antofagasta, 1,14 m³/s), río Salado (Región de Atacama, 0,76 m³/s), río Los Choros (compartida entre regiones Atacama y Coquimbo, 0,01 m³/s), costeras entre río Choapa y río Quilimarí (Región de Coquimbo, 0,16 m³/s), río Quilimarí (Región de Coquimbo, 0,23 m³/s), con los valores más bajos en torno a 0,01 y 1,11 m³/s.

En tanto, los valores más altos de la zona norte están en las cuencas altiplánicas (compartidas entre las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá, 9,18 m³/s), del río Huasco (compartida entre las regiones Atacama y Coquimbo, 11,78 m³/s), río Elqui (Región de Coquimbo, 9,22 m³/s) y río Limarí (Región de Coquimbo, 10,66 m³/s), con ofertas referenciales cercanas a los 10 m³/s. En esta zona destaca la Región de Antofagasta por sus extensas superficies sin información de la oferta subterránea.

ZONA CENTRO

Entre las regiones de Valparaíso y el Maule, la mayor oferta referencial se presenta en la cuenca del río Itata, compartida entre las regiones de Maule y Biobío³¹, con 361 m³/s. Otras que se destacan son las cuencas del río Maipo (compartida por las regiones de Valparaíso y Metropolitana, 203 m³/s), río Rapel (compartida por las regiones Metropolitana, Libertador Bernardo O´Higgins y Maule, 229 m³/s), río Mataquito (Región del Maule, 227 m³/s) y río Maule (compartida entre regiones de Maule y Biobío, 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 Hídrico Nacional (DGA, 1987), necesitando información más actualizada que además integre la oferta subterránea actualmente inexistente. Se excluye de este análisis las zonas insulares.

ZONA SUR

En la zona sur del país, de acuerdo con los estudios que se pudieron recopilar a 2016, solamente se contó con lo señalado en el Balance Hídrico 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 actualizar y mejorar el análisis.

De acuerdo a la información encontrada entre las regiones de Biobío y Los Lagos, las ofertas referenciales más altas en las cuencas varían entre 699 y 1.064 m³/s. Destacan las cuencas

del río Biobío (compartida por las regiones de Biobío y La Araucanía, 699 m³/s), río Valdivia (compartida por regiones de La Araucanía y Los Ríos, 748 m³/s), río Bueno (compartida por regiones de Los Ríos y Los Lagos, 879 m³/s); las cuencas e islas entre río Bueno y río Puelo (Región de Los Lagos, 1.064 m³/s); costeras, entre río Puelo y río Yelcho (Región de Los Lagos, 773 m³/s), río Yelcho (Región de Los Lagos, 906 m³/s), islas de Chiloé e islas circundantes (Región de Los Lagos, 791 m³/s).

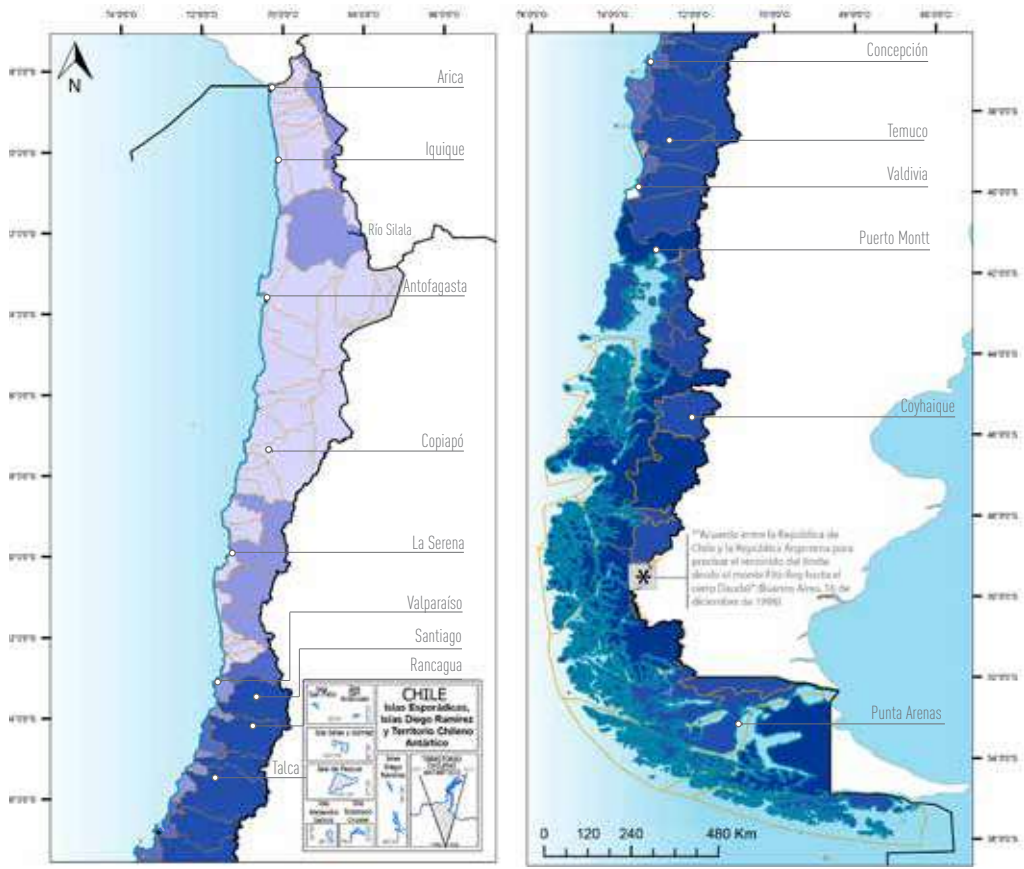
ZONA AUSTRAL

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 superficial encontrada en el Balance Hídrico Nacional del año 1987. Se requiere, por lo tanto, recopilar informes más actualizados que pudieran existir, posteriores al 2016, y/o desarrollar estudios que además integren la oferta subterránea, con el fin de poder mejorar este análisis.

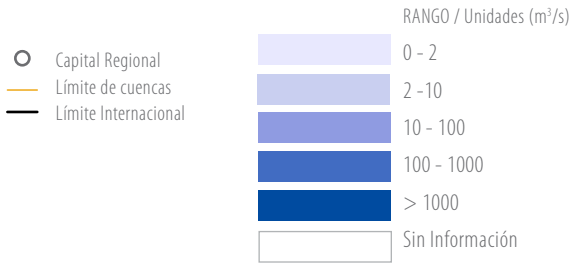
De acuerdo a la información encontrada, en las regiones de Aysén y Magallanes, las ofertas referenciales máximas alcanzan los 3.480 m³/s. Destacan las cuencas costeras e islas entre los ríos Aysén y Baker y el canal General Martínez (de la Región de Aysén, 3.480 m³/s), y costeras entre seno Andrew y río Hollenberg e islas al oriente (de la Región de Magallanes, 1.468 m³/s).

31. Actualmente, entre la región del Maule y BioBío se ubica la nueva Región de Ñuble.

FIGURA 16
OFERTA REFERENCIAL DE AGUAS SUPERFICIALES



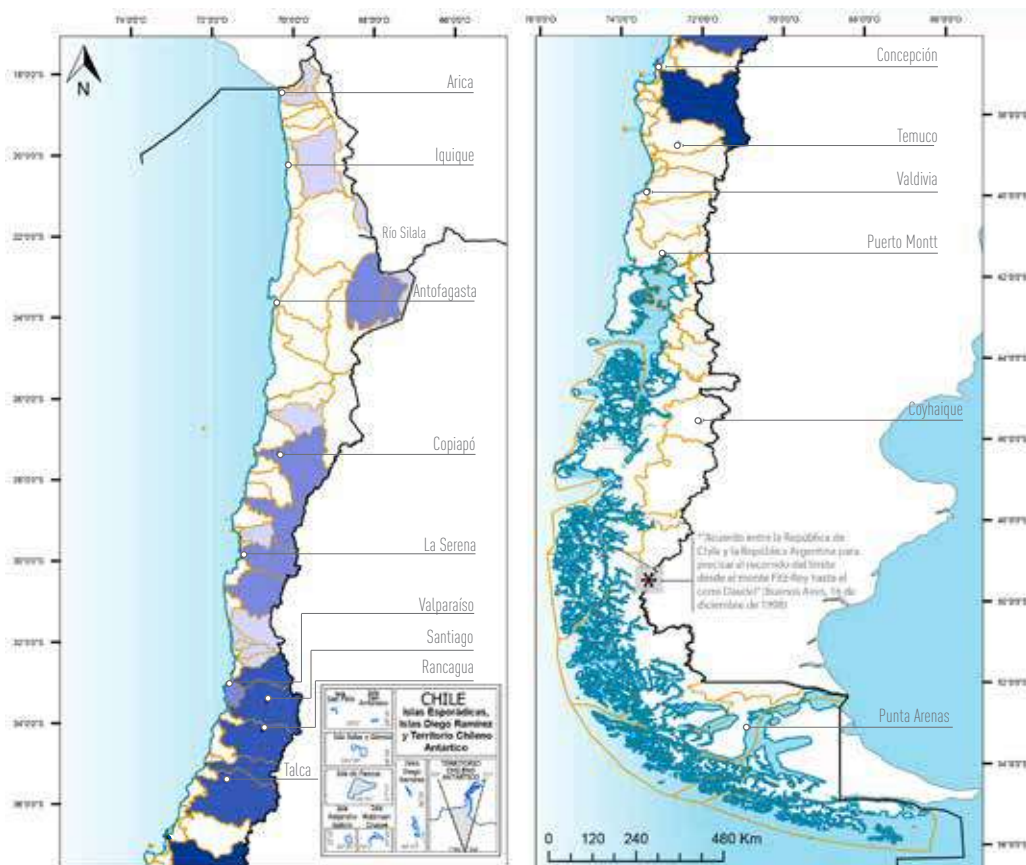
Oferta superficial



Este análisis se construye a partir de la recopilación de balances hídricos disponibles en cuencas de Chile.

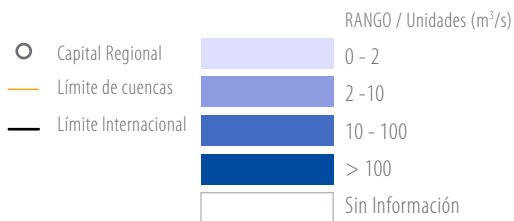
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Vargas, 2017.

FIGURA 17
OFERTA REFERENCIAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

Oferta subterránea



Carencia de información en cuencas costeras, Región de Antofagasta, zona sur y austral de Chile.

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Vargas, 2017.

4.1.2. Demanda: las huellas que deja el agua

Derechos de aprovechamiento de aguas versus captación de aguas

La zona centro sur del país, entre la Región de Coquimbo y la Región de la Araucanía, concentra el mayor volumen de asignación de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) consuntivos permanentes, registrados en el Catastro Público de Aguas (CPA) de la DGA y actualizados a diciembre de 2017.

Las cuencas hidrográficas con los 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, considerando solamente los DAA expresados en forma volumétrica (no acciones). Bajo las mismas consideraciones, las cuencas con mayor número de acciones para uso consuntivo permanente registradas son las de los ríos Maipo, Maule y Biobío, con 45.759, 43.487 y 23.154 acciones, respectivamente³².

Con los análisis y fuentes de información disponibles para el estudio de demanda de agua, es posible observar que existe una diferencia importante entre los DAA otorgados y registrados y los volúmenes de agua captados³³ a nivel nacional (coeficiente entre DAA y captación), aun cuando solamente han sido considerados los derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos y permanentes, dejando fuera del análisis los DAA de acciones y los de uso eventual. Los

DAA consuntivos y permanentes registrados superan más de seis veces la captación de aguas a nivel nacional, donde se puede destacar las regiones sur-australes como aquellas con mayor diferencia: Región de Aysén (los DAA consuntivos permanentes superan más de 200 veces la captación), la Región de Magallanes y la Antártica Chilena (más de 100 veces la captación), Los Lagos (más de 90 veces la captación) y la Región de Los Ríos (más de 40 veces la captación).

El sobre otorgamiento de DAA ha sido explicitado en diferentes documentos³⁴.

El Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos desarrollado por el Banco Mundial en 2011 comenta que la causa principal del sobre otorgamiento se debe al concepto del “uso previsible”.

“En muchos casos los acuíferos y ríos cerrados presentan mejores condiciones de las esperadas, y realmente no presentan problemas de sobreexplotación. La razón principal es que el uso real del agua es mucho menor que el volumen concedido por la importancia de los flujos de retorno (derrames y percolación) y porque existen DAA no plenamente utilizados (DAA continuo, uso eventual, etc). Estas restricciones al otorgamiento de nuevos DAA puede tener impactos negativos sobre el desarrollo económico local, porque existen inversiones que no se pueden hacer por no poder constituir más DAA. Por esa razón, entre 1995 y 2010 se establecía el concepto de uso previsible en los acuíferos, con la idea de que se podría

32. Como se mencionó anteriormente en la metodología, la mayoría de los DAA en el CPA se expresan en unidad volumétrica L/s. Sin embargo, hay un número importante de DAA que se expresan en acciones, los que en general son destinados para uso en riego.

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

34. Banco Mundial, 2011; Ministerio del Interior, 2015; MOP, 2013.

utilizar mejor el potencial de los acuíferos y rectificar de esta manera la sobre evaluación de la demanda resultado de la asignación de DAA consuntivo y continuo a usos que no lo son necesariamente. La idea era permitir un sobre otorgamiento controlado de los DAA”.

En la Tabla 5 y 6, se muestran los DAA distribuidos por regiones y sectores productivos y su relación con la captación de agua.

El mismo documento del Banco Mundial expresa diferentes visiones expertas respecto del efecto del uso previsible, la situación de sobre otorgamiento de derechos de agua y las causas de la sobreexplotación del recurso hídrico. La reforma del Código de Aguas del 2005 introdujo medidas para una gestión más sostenible de los recursos hídricos dentro de los que el texto señala: “1) El establecimiento de áreas de prohibición

TABLA 5
DEMANDA DE AGUA POR DAA Y CAPTACIÓN DISTRIBUIDA POR REGIONES

Región	DERECHOS DE AGUA (consuntivos permanentes registrados en CPA)			Captación ⁴ [m ³ /s]
	DAA ¹ [m ³ /s]	Coefficiente DAA/captación ²	Acciones ³ [N°]	
Arica y Parinacota	16,73	3,90	35.541	4,29
Tarapacá	14,38	4,70	7.926	3,06
Antofagasta	26,25	3,51	-	7,47
Atacama	35,00	4,09	5.894	8,55
Coquimbo	209,52	5,71	21.893	36,68
Valparaíso	476,82	10,57	6.480	45,28
Metropolitana	528,58	5,43	2.612	102,63
Libertador General Bernardo O'Higgins	319,71	3,21	54.111	168,54
Maule	318,39	2,48	44.630	549,10
Biobío	330,39	8,74	25.286	579,87
La Araucanía	457,88	39,69	5.192	265,31
Los Ríos	112,77	48,62	-	2,32
Los Lagos	229,95	93,62	-	51,17
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	167,27	251,57	349	0,66
Magallanes y la Antártica Chilena	91,79	117,87	-	0,78
Total País	3.335,44	6,86	209.914	1.825,71

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

NOTAS :

1. DAA: derechos de aprovechamiento de aguas expresados en el CPA, 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 diferentes usuarios.

de restricción en sectores de acuíferos, Facultad establecida en los art. 63 y 65 del Código de Agua y 2) Interacción entre aguas superficiales y subterráneas y concepto de uso previsible, art. 22 y 147bis del Código de Agua”.

Si se evalúa la demanda de agua total con respecto a los sectores económicos analizados, se puede ver la forma en que estas actividades utilizan el recurso hídrico.

El sector con mayor DAA consuntivos permanentes a nivel nacional registrados en el Catastro Público de Aguas -actualizado a diciembre de 2017- es el, agrícola, seguido en

orden decreciente por los sectores de agua potable y saneamiento, y minero. El sector de generación eléctrica (hidroelectricidad) posee un volumen reducido de DAA, puesto que su uso del recurso y derecho de agua asignado es de carácter no consuntivo. Existe un volumen relevante de DAA consuntivos asignados, que en el Catastro Público de Aguas, no se especifica su uso o bien se clasifica bajo “otros usos”. Para perfeccionar y completar el análisis por sectores, sería necesario mejorar esta información, lo que permitiría vincular estos derechos de agua al sector productivo donde se utilizan.

TABLA 6
DEMANDA DE AGUA POR DAA Y CAPTACIÓN DISTRIBUIDA POR USOS

USO	DAA (consuntivos permanentes registrados en CPA)			Captación ⁴ [m ³ /s]
	DDA ¹ [m ³ /s]	Coefficiente ² DAA/captación	Acciones ³ [N°]	
Agrícola (Riego)	1.184,01	2,93	44.676	404,53
Minero	24,95	2,46	-	10,16
Agua potable y saneamiento	192,78	3,49	270	55,29
Industrial	16,81	1,30	-	12,93
Forestal ⁵	N/A	N/A	N/A	-
Generación Eléctrica ⁶	3,64	N/A	-	1.339,62
Pecuario	-	-	-	3,19
Otros Usos/No especificado	1.913,24	-	164.968	-

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

NOTAS :

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. Sector Forestal no registra DAA y Captación de aguas ya que utiliza agua lluvia.
6. Sector Generación Eléctrica no se considera en el cálculo de Coeficiente DAA/captación, debido a que sus derechos y usos de agua son mayoritariamente no consuntivos.

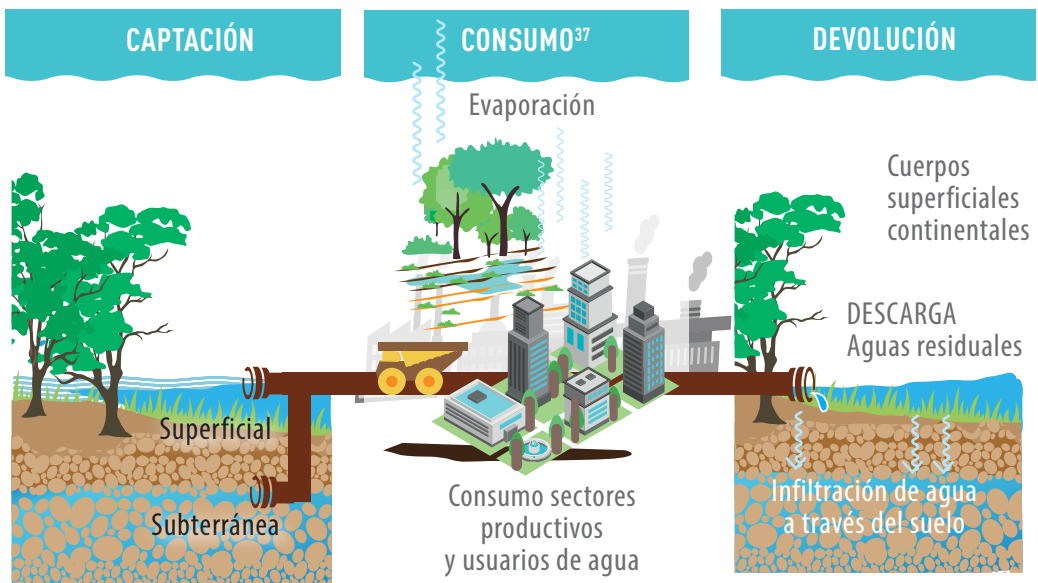
Captación, devolución y consumo de agua

Respecto de la captación y consumo³⁶ de agua el centro-sur del país lidera el mayor uso del recurso hídrico por parte de las diferentes actividades productivas, 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, aplicado en todas las regiones.

La disminución hacia las regiones más extremas del país se atribuye a la menor actividad productiva que actualmente se desarrolla en comparación a la zona centro.

Si además se comparan los dos extremos, se puede observar que en la zona austral los volúmenes de agua captados y consumidos son significativamente menores que los del norte.

FIGURA 18
CAPTACIÓN, CONSUMO Y DEVOLUCIÓN DE AGUA



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

36. Consumo de agua: volumen de agua dulce extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas (HH azul), por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Debido a: 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 o, 4) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

Al analizar el uso total de agua a nivel nacional, se observa que un 88% del agua captada desde fuentes superficiales y subterráneas, regresa al sistema natural como devolución³⁷, pudiendo ser reutilizada "aguas abajo". Esta devolución, conocida también en la legislación como agua de retorno, agua de percolación o derrame, se puede generar por descarga a cuerpos superficiales continentales³⁸ (fluviales y/o lacustres) y descarga a acuíferos a través de infiltración en el suelo. Las regiones donde existe mayor devolución de agua (mayor diferencia entre captación y consumo de agua) en orden decreciente son: La Araucanía, Biobío, Los Lagos, Maule y Los Ríos.

El consumo total de agua a nivel nacional (suma de HH azul y HH verde) alcanza 649 m³/s donde la HH verde (agua dulce consumida proveniente de agua lluvia) representa un 67% del consumo total. Como se mencionó anteriormente en la metodología, estos consumos pueden ocurrir debido a agua que: se evapora, se evapotranspira, se

incorpora en los productos generados por las actividades productivas, es trasladada a un lugar distinto de donde se captó, es descargada al mar o se devuelve en un período de tiempo distinto al que se extrajo.

En el norte de Chile el mayor consumo de agua proviene de fuentes superficiales y/o subterráneas (HH azul), mostrando una alta dependencia de este recurso. Hacia el sur la dependencia de las aguas lluvia aumenta (incremento importante de la HH verde). Esto es relevante, ya que una variación en las precipitaciones, además de tener un impacto en la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, puede afectar a aquellas actividades productivas que actualmente dependen de esta fuente de agua. Las regiones que poseen mayor consumo y dependencia de HH verde son Biobío, La Araucanía y Maule. Las regiones con mayor consumo de Huella azul son Maule, Libertador General Bernardo O'Higgins y Metropolitana.

El sector con mayor DAA consuntivos permanentes a nivel nacional registrados en el Catastro Público de Aguas -actualizado a diciembre de 2017- es el, agrícola, seguido en orden decreciente por los sectores de agua potable y saneamiento, y minero.

37. 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.

38. La descarga de agua a cuerpos de aguas marinas no se considera como devolución de agua, sino como agua consumida en el estándar internacional de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011). Esto se debe fundamentalmente a que éstas al ser vertidas al mar se diluyen con las aguas salinas dejando de estar disponibles como agua dulce para otros usos posteriores. Los emisarios submarinos son un ejemplo de sistemas que descargan aguas de origen urbano o industrial en el mar a cierta distancia de la costa.

TABLA 7

DEMANDA DE AGUA POR CAPTACIÓN Y CONSUMO DE AGUA DISTRIBUIDA POR REGIONES

Región	Captación ¹ [m ³ /s]	Devolución ² [m ³ /s]	Consumo	
			HH azul ³ [m ³ /s]	HH verde ⁴ [m ³ /s]
Arica y Parinacota	4,29	1,92	2,37	0,06
Tarapacá	3,06	1,14	1,92	0,05
Antofagasta	7,47	1,75	5,72	0,01
Atacama	8,55	3,33	5,23	0,09
Coquimbo	36,68	14,72	21,96	0,95
Valparaíso	45,28	19,34	25,94	5,16
Metropolitana	102,63	68,52	36,11	4,34
Libertador General Bernardo O'Higgins	168,54	122,15	44,39	15,76
Maule	549,10	499,03	50,07	99,37
Biobío	579,87	567,52	12,35	143,09
La Araucanía	265,31	261,81	3,50	103,82
Los Ríos	2,32	1,97	0,35	41,74
Los Lagos	51,17	50,03	1,14	22,00
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	0,66	0,51	0,15	0,63
Magallanes y la Antártica Chilena	0,78	0,24	0,53	0,26
Total País	1.025,71	1.613,98	211,73	437,34

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

NOTAS:

1. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por parte de diferentes usuarios.
2. 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. Esta diferencia (entre captación y HH azul) no se da en el caso de la Región Metropolitana y Libertador Bernardo O'Higgins debido a la descarga de aguas (2 m³/s) que realiza Codelco División El Teniente, ubicada en la Región de O'Higgins, al estero Carén en la Región Metropolitana.
3. 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, o 4) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.
4. 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.

Analizando la captación y consumo desde el punto de vista de los sectores, se observa que el sector de generación eléctrica posee la mayor captación de agua desde el entorno, seguida por el agrícola y el agua potable y saneamiento.

Así mismo el sector de generación eléctrica es el que devuelve el mayor volumen de agua (99,9% del agua captada regresa al sistema) pudiendo ser aprovechada "aguas abajo", seguida por el sector industrial (91%), agua potable y saneamiento (76%), sector pecuario (71%) y sector agrícola (54%).

Para el caso del sector de generación eléctrica (hidroelectricidad), ubicado en general en las cabeceras de las cuencas, el agua captada desde el sistema es almacenada en pondajes y luego conducida a través de las turbinas donde se aprovecha la fuerza cinética del agua para la producción de energía hidroeléctrica. Una vez que se produce la energía, el agua turbinada es devuelta al sistema natural. El principal consumo del sector se da por la evaporación de agua desde los embalses, con las condiciones naturales meteorológicas de radiación y viento, lo que ha sido descrito por diferentes autores (Mekonnen *et al.*, 2012).

En el caso de los sectores industrial, agua potable y saneamiento y sector pecuario, la devolución al sistema se debe a la descarga de los residuos líquidos, conocidos también como RILes³⁹ y aguas servidas o domiciliarias; ambos tipos de aguas tratadas previo a su devolución al sistema, según las normativas vigentes que las regulan. El reúso de las aguas residuales

tratadas y descargadas en Chile, ha sido reportado en distintos documentos (FAO, 2017; Jimenez y Asano, 2008). Por su parte, en el sector agrícola las aguas regresan al sistema principalmente por su infiltración en el suelo durante el proceso de riego de los cultivos.

Al desglosar los consumos de agua (huella hídrica/sector/región) es posible dimensionar el uso del agua de cada uno de los sectores en las distintas regiones y su consumo a través de la huella azul y/o verde. El sector forestal –que considera en este estudio las plantaciones de bosque⁴⁰– encabeza el consumo total de agua a nivel nacional, la que proviene 100% de agua lluvia (representada en la HH verde) y se estima alcanza 384 m³/s, por lo tanto, no posee DAA, ni valores de captación de agua subterránea y superficial.

Por otro lado, el sector agrícola posee el mayor consumo de agua proveniente de fuentes superficiales y subterráneas equivalente a 187 m³/s, lo que representa el 87% del consumo de HH azul a nivel nacional. Este sector, al igual que el forestal, también utiliza agua lluvia para una parte importante de su producción de secano (53 m³/s es el volumen de HH verde, lo que representa un 22% de su consumo total de agua⁴¹).

Para los sectores forestal y agrícola que se sostienen de la HH verde, estos datos son relevantes ya que, como se verá más adelante (sección 4.2.1a) en el estudio del Indicador SPEI, se ha registrado en los últimos 15 años una disminución de las precipitaciones

39. Residuos Industriales Líquidos.

40. Los procesos relacionados con el procesamiento de la madera –celulosa y papel– han sido incluidos en el sector industrial, según fue descrito en la metodología.

41. Consumo total de agua es la suma de HH azul y HH verde.

en gran parte del país (entre Vallenar y Elqui y entre El Maule y Los Ríos), lo que podría estar afectando a ambos sectores.

Los distintos sectores registran demandas de agua diferentes en cada región. En el caso del sector silvoagropecuario (agrícola, pecuario y forestal), son principalmente las regiones del Biobío, Maule y La Araucanía, las que abarcan las plantaciones forestales, la fruticultura de exportación y cereales anuales más relevantes.

El consumo de agua atribuido a la industria minera, que representa 3,8% del consumo de HH azul a nivel nacional, se presenta principalmente en las regiones de: Antofagasta con un 56% del consumo hídrico regional, 20% en la Región de Atacama y 19% en la Región de Tarapacá.

Respecto del sector de agua potable y saneamiento, los mayores consumos de agua se ubican en los principales centros poblados,



FIGURA 19
DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO TOTAL DE AGUA A NIVEL NACIONAL (HH AZUL + HH VERDE)

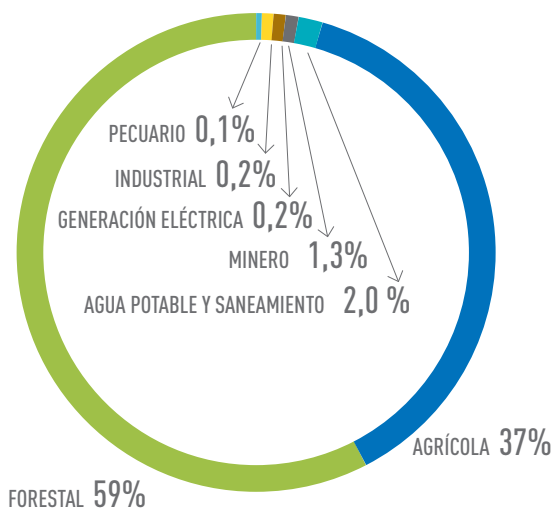
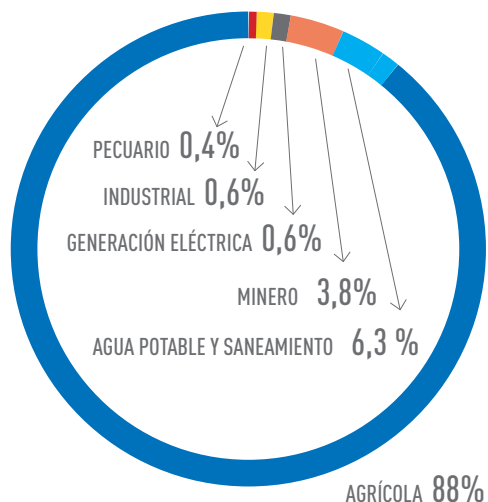


FIGURA 20
DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA (HH AZUL)



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Jaramillo y Acevedo, 2017.

que se pueden encontrar en las regiones de Valparaíso (3,6 m³/s), Metropolitana (2 m³/s) y Tarapacá (2 m³/s). Cuando se analizan los consumos de los diferentes sectores usuarios del agua a nivel regional, destaca la Región de Valparaíso con un 14% del consumo regional⁴² y Biobío con un 11% del consumo regional por parte de este sector.

El sector industrial consume una reducida fracción de agua azul en comparación con los otros sectores productivos, la que se presenta en orden decreciente en las regiones del Biobío (0,54 m³/s), Maule (0,15 m³/s), La Araucanía

(0,14 m³/s), Metropolitana (0,14 m³/s) y Los Ríos (0,09 m³/s). En Biobío y Maule se presenta el mayor desarrollo de la industria de celulosa, mientras que las regiones de La Araucanía y Los Ríos registran principalmente actividades vinculadas a los productos cárnicos y lácteos.

Desde Coquimbo hacia el norte no hay consumo de agua por parte del sector de generación eléctrica (hidroelectricidad)⁴³, lo que tampoco se da en la zona austral. Lo anterior cambia en las regiones del Maule y el Biobío, donde se ubican las principales plantas hidroeléctricas de embalse.

42. El 60% del consumo del sector Agua Potable y Saneamiento, corresponde a las descargas de aguas residuales al mar, a través de los emisarios submarinos.

43. Para efectos de esta radiografía, sólo se consideraron las grandes plantas hidroeléctricas con embalses. No han sido consideradas las centrales hidroeléctricas de pasada.

TABLA 8

DEMANDA DE AGUA POR CAPTACIÓN, DEVOLUCIÓN Y CONSUMO, DISTRIBUIDA POR USOS

USO	Captación ¹ [m ³ /s]	Devolución ² [m ³ /s]	Consumo	
			HH azul ³ [m ³ /s]	HH verde ⁴ [m ³ /s]
Agrícola (Riego)	404,53	217,69	186,84	53,33
Minero	10,16	2,02	8,14	-
Agua potable y saneamiento	55,29	41,98	13,30	-
Industrial	12,93	11,74	1,19	-
Forestal ⁵	-	-	-	384,01
Energía	1.339,62	1.338,29	1,33	-
Pecuario	3,19	2,27	0,92	-
Otros Usos/No especificados	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030

NOTAS :

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

2. 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.

3. 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 o 4) agua que retorna en un período de tiempo distinto al que se extrajo.

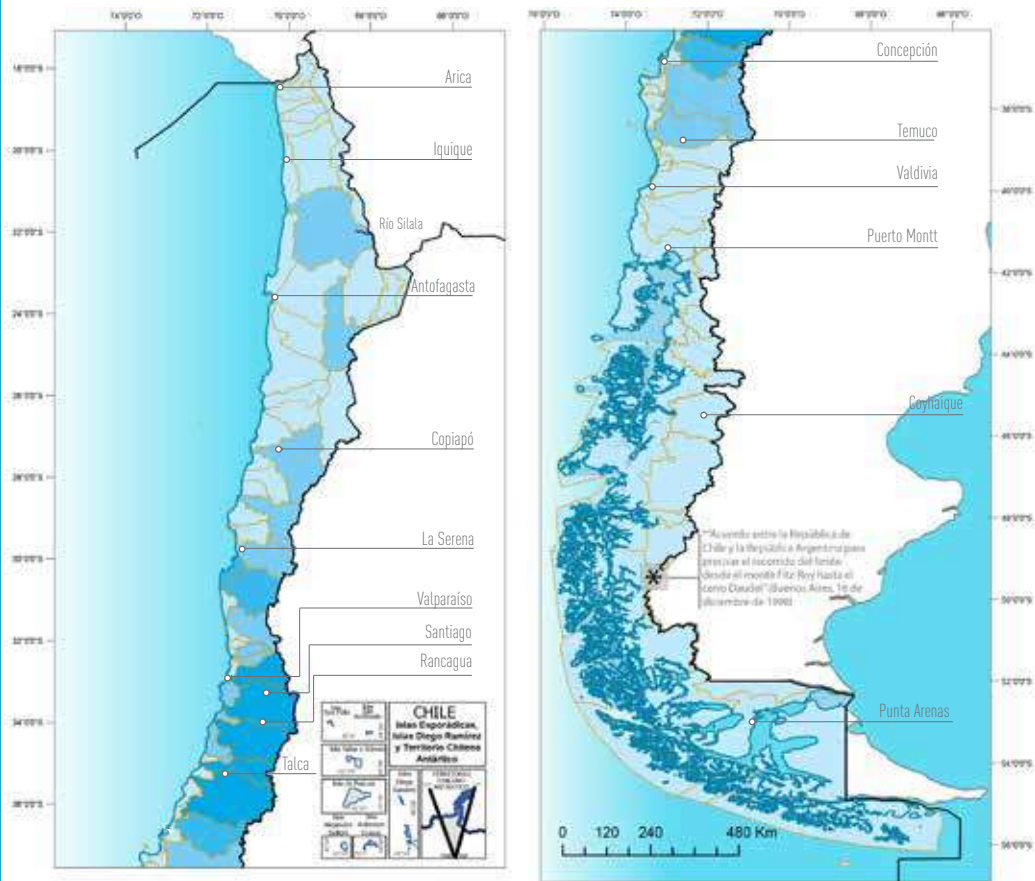
4. Consumo HH verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

5. Sector forestal consume agua lluvia (HH verde) por lo que no registra DAA, captación, devolución y HH azul.

FIGURA 21 HUELLA HÍDRICA AZUL EN CHILE



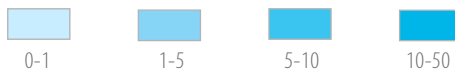
Volumen de agua fresca que se extrae de fuentes superficiales y/o subterráneas y que **no retorna** al ambiente de donde se extrajo (ej. Agua evaporada, agua incorporada en el producto).



DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

- Capital Regional
- Límite de cuencas
- Límite Internacional

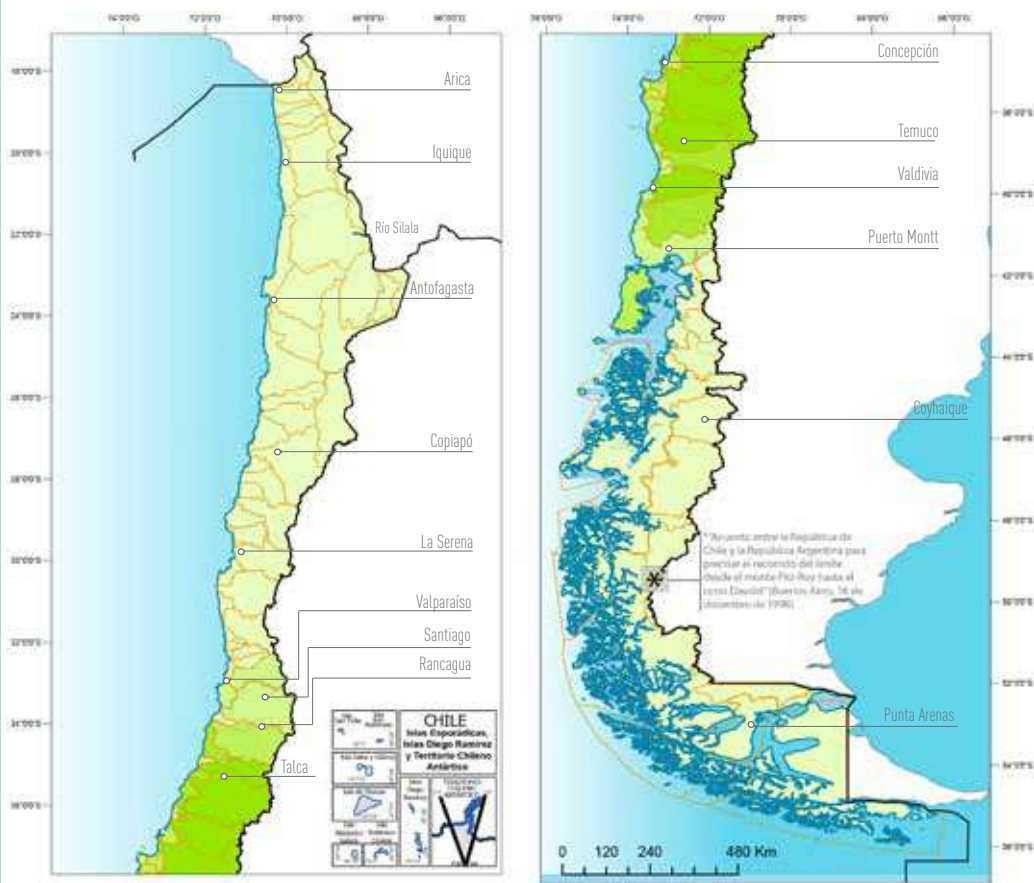
RANGOS (m³/s)



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Jaramillo y Acevedo, 2017.

FIGURA 22 HUELLA HÍDRICA VERDE EN CHILE

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



DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

- Capital Regional
- Límite de cuencas
- Límite Internacional

RANGOS (m³/s)



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Jaramillo y Acevedo, 2017.



Marcelo Orz M. / San Pedro de Atacama

4.1.3 Análisis de brecha: Cuencas bajo presión

Oferta versus consumo

Cabe señalar que el análisis de Brecha Hídrica solo pudo ser aplicado 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 debieron ser excluidas del análisis⁴⁴. Según la oferta referencial de agua, las cuencas excluidas se encuentran principalmente en la zona norte, donde 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.

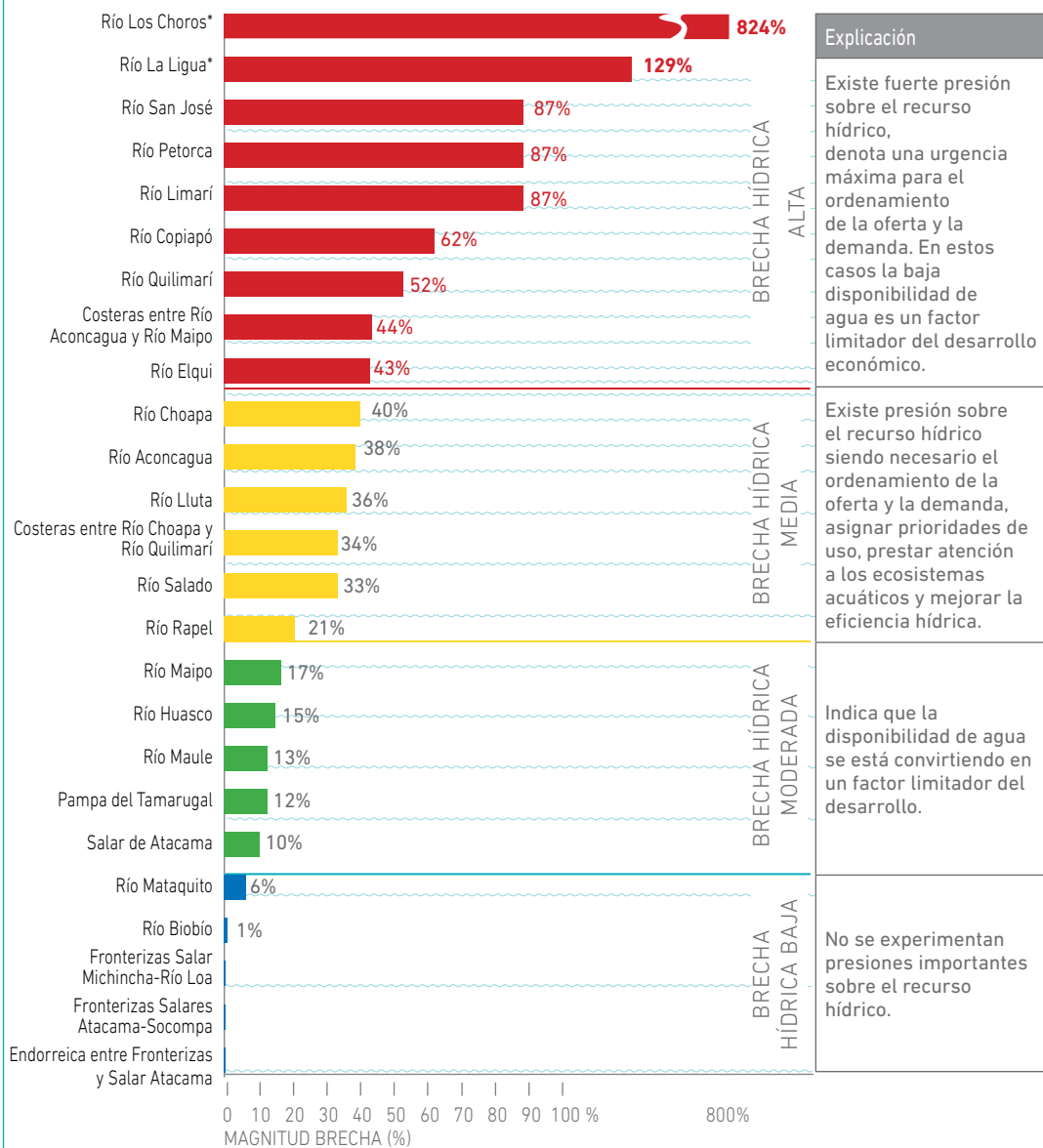
Cuando se analiza y compara la relación entre oferta referencial y consumo de

agua (en las cuencas hidrográficas donde existe información de aguas superficiales y subterráneas para realizar el análisis), se presentan situaciones heterogéneas en el territorio, sin una tendencia o comportamiento mayoritario hacia una condición u otra.

Cabe señalar que, si solamente se aplicara la metodología de análisis de Brecha Hídrica con aguas superficiales, reportada en diversos estudios internacionales (Rivera *et al.*, 2004), 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 a la información utilizada, actualmente no estaría experimentando presiones importantes sobre el recurso hídrico, situación que teóricamente se vería mejorada si se considerara la oferta de agua proveniente de los acuíferos.

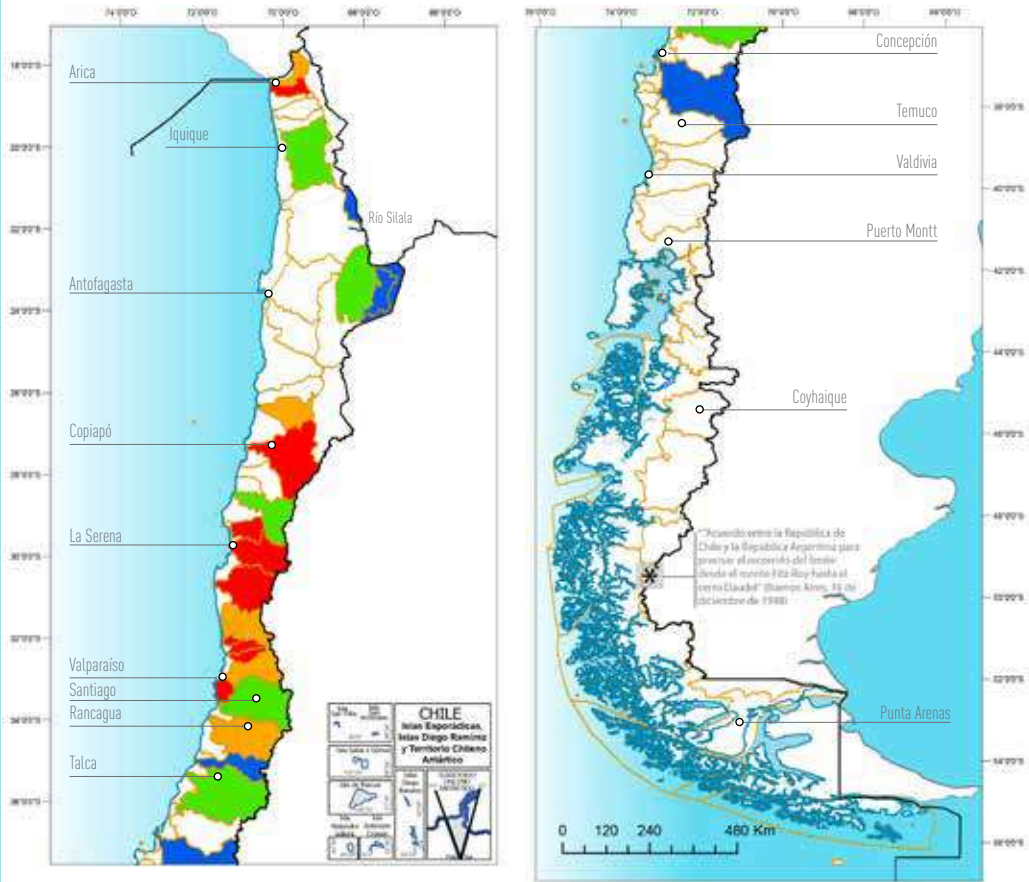
44. Para el análisis de Brecha Hídrica, el Comité Técnico consideró necesario incluir la oferta superficial y subterránea en la cuantificación de la relación de consumo y oferta hídrica, ya que representa de mejor forma el uso actual de aguas en Chile.

FIGURA 23: BRECHA HÍDRICA EN LAS 25 CUENCAS ANALIZADAS



*Río La Ligua y Río Los Choros poseen un consumo mayor a la Oferta referencial de la cuenca, al superar el umbral del 100%.
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, con metodologías y clasificación según OMM, 1997 y Rivera et al., 2004.

FIGURA 24
BRECHA HÍDRICA EN CHILE



- Capital regional
- Límite de cuencas
- Límite internacional

BRECHA / Categoría



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

Si se considerara la calidad de las aguas en la Brecha Hídrica, la situación podría agravarse en algunas cuencas del país.

Cuando se analiza en el territorio la demanda de agua de los diferentes sectores, se puede apreciar que los sectores agrícola y de generación eléctrica (hidroelectricidad) presentan la mayor vulnerabilidad para sostener su actual producción, debido a la limitada disponibilidad de oferta referencial de agua superficial y subterránea. Es decir, estos sectores frente a una reducción o cambio en disponibilidad de agua no lograrían satisfacer su requerimiento actual de agua, por lo que tendrían que reducir su nivel de producción, demanda de agua o buscar fuentes alternativas del recurso.

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



De acuerdo al análisis, otras cuencas vulnerables para el sector agrícola, 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



Las demandas de agua de los sectores minero, agua y saneamiento, pecuario e industrial son reducidas 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 realizar el análisis. Las cuencas donde los sectores minero y agua potable y saneamiento podrían tener mayor criticidad, considerando una competencia por el uso del recurso entre los diferentes sectores son:

- **Minería:**
Río Los Choros
Río Salado
Río Copiapó



- **Agua Potable y Saneamiento:**
Río Los Choros
Río San José
Costeras entre
Río Aconcagua y Río Maipo



Otros sectores que podrían verse afectados son los que dependen de los insumos provenientes del sector agrícola, tales como los sectores pecuario, agroindustrial y agroexportador.

Quando se analiza la demanda de agua, se puede apreciar que los sectores agrícolas y generación eléctrica (hidroelectricidad) presentan la mayor vulnerabilidad para sostener su actual producción, por la limitada Oferta hídrica referencial de agua superficial y subterránea.

4.2. RIESGO HÍDRICO NACIONAL: ALERTAS SOBRE EL AGUA

4.2.1. Déficit Hídrico: se acentúa la sequía

Según los antecedentes analizados en esta Radiografía del Agua, la escasez hídrica es un fenómeno que se ha incrementado en los últimos años a través de diferentes manifestaciones. Esto es corroborado en diversos estudios e informes donde se manifiesta que Chile es un país fuertemente afectado por sequías, las cuales se han acentuado en los últimos años, generando efectos adversos en las reservas de nieve, en

los caudales de los principales cursos de agua y por ende en la vegetación nativa, a través de mecanismos conocidos como “propagación de la sequía” (Garreaud *et al.*, 2017).

Los cambios esperados en la disponibilidad hídrica por efecto climático, pueden afectar las distintas facetas de seguridad hídrica, ya sea porque disminuye la cantidad de agua disponible para distintos usos productivos, para el sostén de medios de vida y ecosistemas valiosos o porque aumentan los efectos negativos en términos de calidad de agua u ocurrencia de eventos extremos como desastres de origen hidrometeorológico (MMA, 2016).



a) Índice SPEI: menos precipitación e incremento de la sequía meteorológica

En todas las cuencas estudiadas a nivel nacional, los resultados de la aplicación del índice SPEI entregan valores entre 0 y -51,41, lo cual indica un desbalance generalizado (sequía meteorológica), donde las precipitaciones no alcanzan a cubrir las necesidades hídricas de la cobertura vegetal actual. Las precipitaciones disminuyen y la temperatura aumenta en casi todo el país, donde los cambios más significativos se presentan entre las regiones de Atacama y de Los Lagos (Figura 25 y 26). Por otro lado, se constata una tendencia al incremento de la evapotranspiración potencial en casi todo el país, a excepción del extremo norte.

El análisis de la magnitud de la sequía aplicando el SPEI a nivel nacional, se manifiesta a través de un patrón heterogéneo y a veces discontinuo de norte a sur.

Los resultados del déficit, analizado desde la perspectiva del consumo hídrico en la cobertura vegetal, utilizando la evapotranspiración potencial (ET potencial) y comparado con la evaluación de la evapotranspiración real (ET real), nos indican que las cuencas entre Copiapó y O'Higgins aún no manifiestan un déficit hídrico, aludiendo posiblemente al riego agrícola que involucra otras fuentes de recursos hídricos distintas de la precipitación directa precipitación directa (aguas subterráneas u otras). El resto del

país, desde el Maule hasta Magallanes, se presenta un patrón similar de déficit hídrico, estimado por el potencial de la atmósfera (ET potencial) o por el consumo real (ET real), respondiendo estas cuencas principalmente a las precipitaciones y reservas del suelo.

En el estudio de SPEI se agregó un análisis de uso de suelo en las cuencas de los ríos Imperial y Maule, dado que son cuencas grandes, de gran interés para el desarrollo económico del país y poseen una condición diversa de coberturas vegetales. Los resultados indican un desecamiento de la vegetación nativa en ambas cuencas (estrés hídrico), tanto de matorral como de bosque nativo, lo que puede estar afectando su crecimiento y desarrollo. Por otra parte, las plantaciones forestales -en general- mantienen o aumentan su consumo de agua (ET real), sobre todo en la cuenca del Maule sujeta a condiciones más limitantes de pluviometría. Con respecto a la agricultura, los cultivos muestran un comportamiento neutral en torno al consumo de agua.

Los resultados explicitan, con detalle espacial y temporal, el problema de déficit meteorológico que vive el país, sirviendo de base para un diagnóstico de la situación actual de los recursos hídricos de Chile y futuras proyecciones.

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

ZONA NORTE GRANDE

Comprendida entre las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, la aplicación del índice SPEI está limitada por la carencia de cobertura vegetal, sin embargo, se muestra un aumento de las precipitaciones en el altiplano.

ZONA NORTE CHICO

Abarca las regiones de Atacama y Coquimbo, donde la sequía meteorológica de los últimos años se manifiesta con mayor intensidad, siendo significativo su aumento entre las zonas de Vallenar y Elqui, presentando la mayor disminución de precipitaciones en los últimos 15 años en Chile. Esto coincide además, con un aumento relevante de la evapotranspiración potencial de la cobertura vegetal por efecto del aumento de temperatura y sequedad del aire, lo cual se traduce en un mayor requerimiento hídrico (consumo) de la cobertura vegetal.

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. Hacia el sur se registra una extensa sequía meteorológica.

ZONA CENTRAL

Va desde la Región de Valparaíso al Maule. En estas regiones el SPEI constata una tendencia al incremento de la evapotranspiración potencial, la que se manifiesta principalmente en la zona costera al sur de la Región de Valparaíso y toda la Región del Maule. En esta última, se ha manifestado una extensa sequía meteorológica. En la zona central comienza a desarrollarse de forma

importante la agricultura de secano y actividad forestal, las que se sostienen con aguas lluvias que están en clara reducción.

ZONA SUR

Va desde la Región del Biobío⁴⁵ hasta Los Lagos. También se manifiesta una tendencia al incremento de la evapotranspiración potencial, siendo significativo su aumento entre las regiones del Maule y Los Ríos (Figura 26). Las regiones de Biobío, La Araucanía y Los Ríos se destacan por registrar una extensa sequía meteorológica.

ZONA AUSTRAL

Va desde la Región de Aysén hasta Magallanes y Antártica Chilena. Si bien la aplicación del SPEI posee algunas limitaciones en el análisis de los datos satelitales por efecto de la nubosidad en la zona, la aplicación del índice utilizando datos de las estaciones meteorológicas, indican que también se verán afectados por la sequía meteorológica en menor proporción que la zona centro y sur del país, destacando la cuenca de Palena en Aysén.

En la Figura 25 se muestra el mapa con la variación de las precipitaciones en el período de estudio (2000-2014), donde el color verde evidencia un aumento en la caída de lluvia, mientras que el color rojo muestra una importante disminución de éstas. En la Figura 26 se muestra la evapotranspiración, donde el color rojo evidencia un aumento en el requerimiento hídrico por parte de la cobertura vegetal, por el alza en la temperatura que produce sequedad del aire.

45. Actualmente, entre las regiones del Maule y Biobío se ubica la nueva Región de Ñuble.

FIGURA 25: TENDENCIA DE PRECIPITACIÓN EN CHILE (2000-2014)

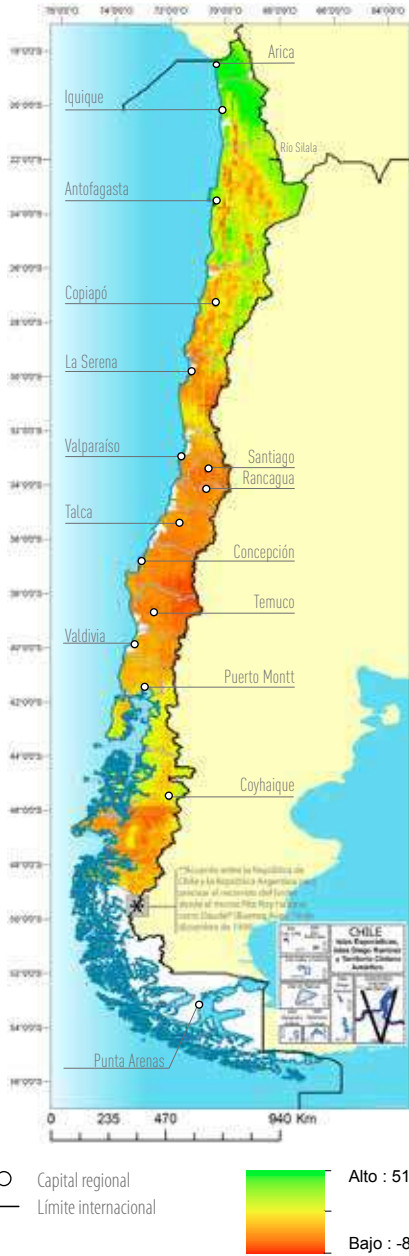
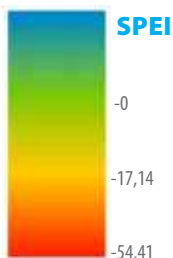
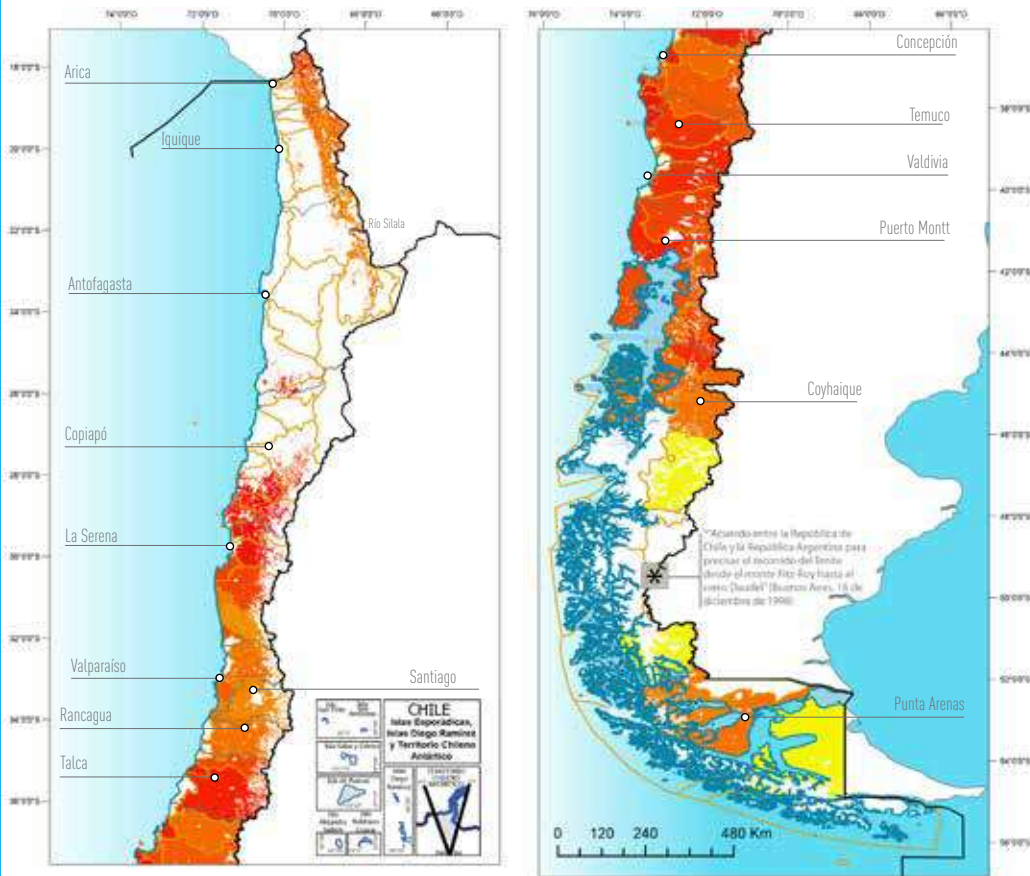


FIGURA 26: TENDENCIA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN CHILE (2000-2014)



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Galleguillos et al., 2017.

FIGURA 27: MAGNITUD DEL ÍNDICE SPEI EN LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS A NIVEL NACIONAL (2000-2014)



Valores Nacionales:
 Alto -18,88
 Bajo -51,41

- Capital regional
- Límite de cuencas
- Límite internacional

DATUM WGS 1984 , PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Galleguillos et al., 2017.

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 a nivel mundial. El estudio y comprensión de las aguas subterráneas en cuanto a sus propiedades, geometrías y factores de control se pudo desarrollar recién a partir de los años 60-70 (Tóth, 2000).

El estudio de las aguas subterráneas a nivel nacional que fue desarrollado por especialistas del CAZALAC y UNESCO, buscó evaluar el riesgo de déficit de estas fuentes de agua. De acuerdo a los criterios establecidos en la metodología, de un total de 1.094 estaciones de monitoreo, sólo 203 contaban con la cantidad y frecuencia de datos requeridas para ser analizadas bajo criterios estadísticos validados. Estas 203 estaciones se ubican entre la región de Arica y Parinacota y la región del Libertador Bernardo O'Higgins, dejando fuera de análisis un 81% de las estaciones, principalmente del Maule hacia el sur.

De las 203 estaciones analizadas, 147 presentan una tendencia negativa estadísticamente significativa (puntos rojos). Posterior al año 2000 éstos disminuyen a 137 estaciones. En todo el período estudiado un 11% de las estaciones analizadas presentan tendencia positiva significativa y un 7% posee tendencia positiva no significativa. Entre el año 2000 y 2016 estos últimos valores se invierten, lo que se puede explicar debido a que muchos de los pozos que eran positivos significativos,

entraron en la categoría de no significativos, por lo cual ya no se puede asegurar que dichos pozos tengan tendencia positiva.

En este sentido, se destaca la extensa zona comprendida entre la Región del Maule y Magallanes, donde ninguna de las estaciones de monitoreo existentes pudo ser considerada para el análisis, debido a las brechas en la calidad de los datos registrados. Lo anterior impide conocer la situación y tendencia de las aguas subterráneas en la zona sur y austral de Chile.

Para el caso de las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Valparaíso, si bien se incluyen algunas estaciones, varias debieron ser descartadas.

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 (mostradas con puntos blancos en la Figura 29).

Como se puede observar en el mapa de tendencia global, la mayoría de los resultados muestran una tendencia negativa o que no existe información suficiente para el análisis, salvo excepciones, como en la Región de Antofagasta, específicamente al noreste de Calama, que presenta pozos con tendencia positiva significativa. Las estaciones que en forma excepcional muestran pozos con tendencias positivas significativas se evidencian también en la cuenca del río Huasco, en la zona intermedia de la Provincia del Limarí y en la cuenca del río Cachapoal.

Estas discrepancias en los resultados podrían tener su origen, en ciertos casos, debido al "efecto embalse", como ocurre en el sector de río Huasco, donde el Embalse Santa Juana y su presencia podría favorecer la recarga subterránea aguas abajo de esta instalación.

A partir del año 2000 se observa en la Región de Coquimbo una gran cantidad de estaciones donde la tendencia negativa aumenta. Sin embargo, las regiones de Antofagasta, Tarapacá, Atacama, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins no presentan cambios significativos en los distintos períodos analizados.

Cabe destacar que la Región de O'Higgins corresponde al último sector con información, ya que como se mencionó anteriormente, desde ese punto al sur de Chile, los registros disponibles no lograron satisfacer los criterios de cálculo definidos.

El resumen de los resultados se presenta en la Figura 28, donde se muestra la tendencia global y post 2000 de los pozos mientras que su distribución en el territorio nacional se identifica en la Figura 29.

De todo el período analizado tres pozos de la cuenca del río Copiapó y un pozo de la Región Metropolitana presentan una tendencia negativa significativa con una tasa de cambio mayor a 0,05 m/año. A partir del año 2000 el escenario cambia ya que los pozos con esta tendencia negativa aumentan significativamente, encontrándose con esta característica 13 pozos: cuatro en la cuenca del

FIGURA 28: TENDENCIA GLOBAL Y POST AÑO 2000 EN NIVELES DE POZOS



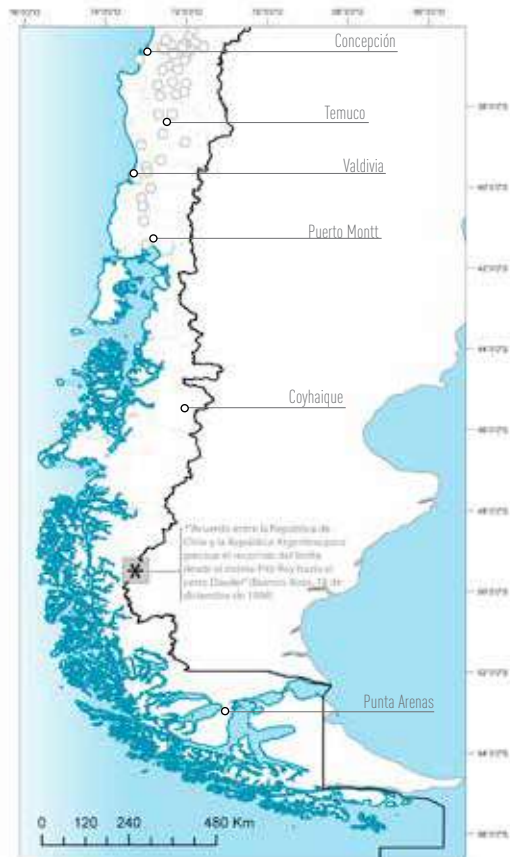
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en CAZALAC, 2017.

río Copiapó, uno en la cuenca del río Huasco, uno en la cuenca del río Los Choros, uno en el río Elqui, uno en las cuencas costeras Elqui-Limarí, cuatro en la cuenca del río Maipo y uno en la cuenca del río San José.

147 de 203 estaciones analizadas presentan una tendencia negativa estadísticamente significativa (72%), entre el año 1960 y 2016.

FIGURA 29

TENDENCIA HISTÓRICA EN NIVELES DE POZOS ENTRE 1960-2016 (AGUAS SUBTERRÁNEAS)



- Capital regional
- Sin información
- Límite de cuencas
- Límite internacional

Tendencia de pozos

- Positiva, significativa
- Positiva, no significativa
- Negativa, no significativa
- Negativa, significativa

Áreas de importancia

- ▨ Área de Restricción
- ▨ Zona de Prohibición

Tipos de acuíferos

- Acuíclodo
- Fisurado
- Poroso

DATUM WGS 1984 , PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

Pozos en rojo indican aguas subterráneas que eventualmente se van a agotar.

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hidricos 2030, basado en CAZALAC, 2017.

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. Éstas son probablemente las primeras fuentes de agua aprovechadas por el ser humano, el que fue desarrollando los primeros poblados y civilizaciones en los costados de sus lechos. Así ocurrió en nuestro país, donde la mayoría de las ciudades se localizan cercanas a cursos de agua.

Según la metodología de análisis propuesto para las series de datos registrados por la DGA, una gran parte de las estaciones de monitoreo de aguas superficiales en Chile mantiene sus caudales entre los años 1960-2016.

ZONA NORTE

Hasta la Región de Tarapacá, no hay estaciones con tendencia a la baja de caudales superficiales (color rojo), la Región de Coquimbo es la que presenta mayor cantidad de estaciones con tendencia negativa a nivel nacional (10). Las regiones de la zona norte que poseen mayor cantidad de estaciones con una tendencia de caudal positiva son la Región de Atacama (7), seguida por la Región de Arica y Parinacota (5). En cuanto a las estaciones sin tendencia, existe una homogeneidad en todas las regiones de la zona norte.

ZONA CENTRO

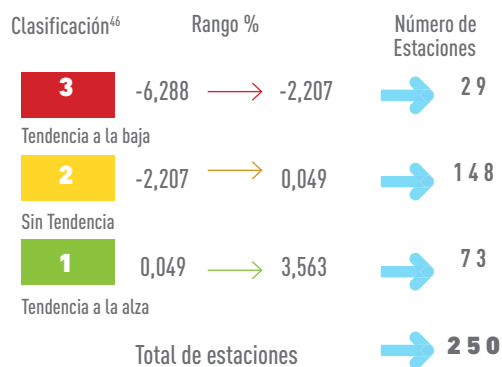
Se encuentran estaciones en las tres categorías, donde destacan: la Región de Valparaíso con cinco estaciones con caudales superficiales negativos y 11 estaciones sin tendencia; la Región Metropolitana presenta cuatro estaciones con tendencia negativa y ocho sin tendencia; la Región del Maule posee cuatro estaciones con tendencia negativa y 18 sin tendencia. Las estaciones que presentan tendencias positivas se encuentran distribuidas de manera uniforme en el territorio.

ZONA SUR- AUSTRAL

Ocurre algo similar a la zona norte, no existen regiones con tendencia negativa y posee mayor cantidad de estaciones con tendencia al alza (color verde). La Región de Magallanes es la que posee mayor cantidad de estaciones con tendencia positiva (19), seguida por la Región de Aysén (10). Las regiones que poseen mayor número de estaciones sin tendencia son: la Región de La Araucanía que además presenta mayor cantidad de estaciones con esta tendencia a nivel nacional (27), seguida por la Región del Biobío (25). Estos resultados se encuentran en la Tabla 9.

Cabe señalar que, de un total de 303 estaciones disponibles, 250 pudieron ser analizadas de acuerdo a los criterios definidos en la metodología.

FIGURA 30
NÚMERO DE ESTACIONES ASOCIADAS
A LA CLASIFICACIÓN DE TENDENCIA
DE CAUDALES SUPERFICIALES



Es recomendable continuar analizando la tendencia de caudales superficiales en el tiempo, considerando la relación de éstos con el aporte a los caudales desde los glaciares, aguas nieve y la caída de nieve, lo que podría explicar en parte los caudales sin tendencia aparente.

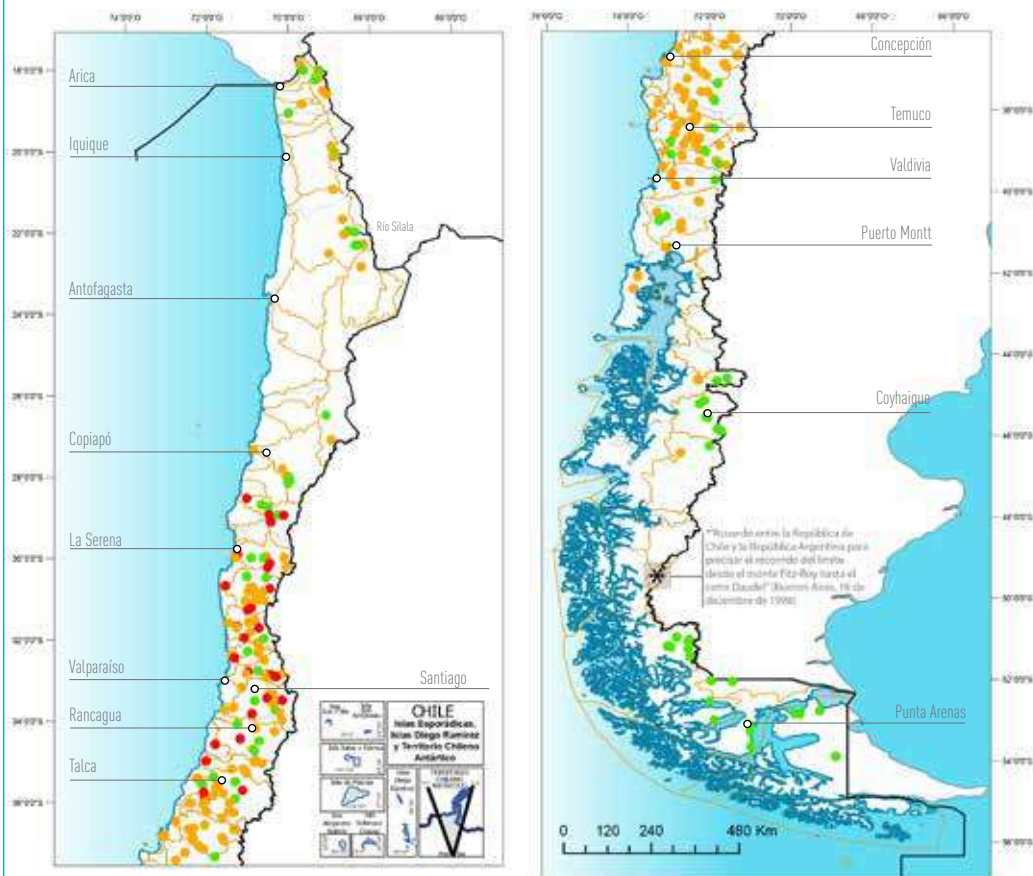
46. El color rojo define tendencia a la baja de caudales superficiales, amarillo sin tendencia y verde, tendencia al alza de caudales superficiales.

TABLA 9
TENDENCIA DE CAUDALES SUPERFICIALES EN CHILE, DISTRIBUIDO POR REGIONES

Región	Positiva	Sin tendencia	Negativa	Total
Arica y Parinacota	5	6	0	11
Tarapacá	2	3	0	5
Antofagasta	4	5	0	9
Atacama	7	6	4	17
Coquimbo	5	21	10	36
Valparaíso	2	11	5	18
Metropolitana	3	8	4	15
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	2	3	2	7
Maule	4	18	4	26
Biobío	2	25	0	27
La Araucanía	5	27	0	32
Los Ríos	1	6	0	7
Los Lagos	2	7	0	9
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	10	2	0	12
Magallanes y Antártica Chilena	19	0	0	19
Total país	73	148	29	250

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030. Basado en Vargas, 2017.

FIGURA 31
TENDENCIA DE CAUDALES SUPERFICIALES A NIVEL NACIONAL



DATUM WGS 1984 , PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

El cambio en la temporalidad de los caudales superficiales ha sido evidenciado en los últimos años.

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030. Basado en Vargas, 2017.

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. Si bien *“el 70% de la superficie de la Tierra es agua, la mayor parte de ésta es oceánica y sólo 3% de ella es dulce, la cual se encuentra en su mayor parte en la forma de casquetes de hielo y glaciares”* (Agudelo, 2005). De este modo, constituyen reservas estratégicas, porque además de aportar agua a las cuencas hídricas en verano, tienen un impacto en zonas secas del planeta.

Según la Estrategia Nacional de Glaciares (DGA, 2009), Chile cuenta con una de las mayores y más diversas reservas glaciares a nivel mundial, representando el 3,8% del

área total del planeta, excluyendo Antártica y Groenlandia. Se estima un volumen de 3.532 km³ y un total de 24.114 glaciares (DGA, 2016). Sin embargo, su distribución de norte a sur resulta muy desigual, concentrándose la mayor superficie de glaciares en la zona austral del país en los Campos de hielo Sur.

En Chile se han estudiado sólo 147 glaciares, divididos en tres tipos de análisis: superficie areal, superficie frontal y balance de masa. “Se han registrado variaciones negativas en frentes y áreas para la mayoría de los glaciares de todas las zonas glaciológicas. En particular destacan los retrocesos de Chile central y de los volcanes con hielo de la zona centro sur. En la zona sur y austral (Patagonia) se han detectado los mayores retrocesos, pero algunos deben ser considerados anomalías



respecto a la incidencia de cambios climáticos, debido a que algunos glaciares producen témpanos y, por lo tanto pueden tener cambios frontales muy fuertes, como respuestas dinámicas a factores controladores de carácter topográfico o batimétrico" (DGA, 2011).

Dentro de los estudios realizados por la DGA, los únicos glaciares que se mantienen avanzando a principios del siglo XXI (superficie frontal), son el Glaciar Pío XI y el Glaciar Garibaldi en la Cordillera Darwin.

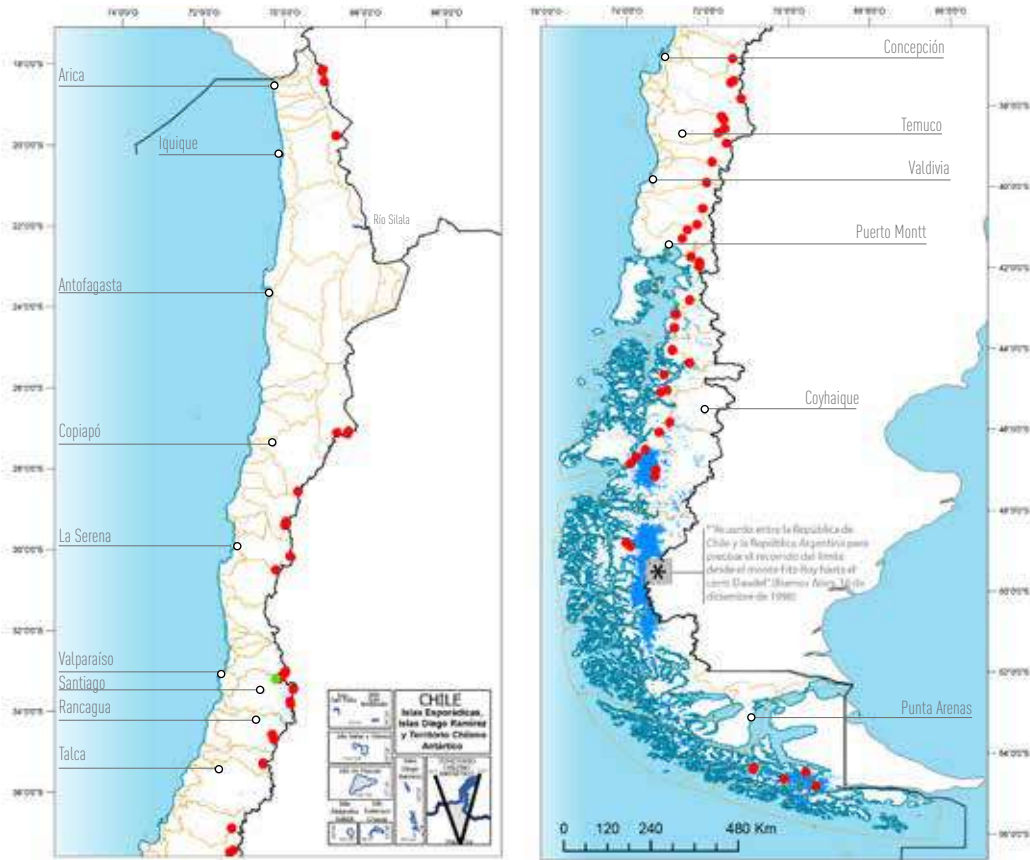
Respecto a los glaciares estudiados por balance de masa en el país, de un total de 13, sólo cuatro presentan un balance de masa positivo antes del año 2003: Glaciares Nef, San Rafael y Chico en la Región de Aysén y el glaciar Tyndall en la Región de Magallanes. Los 10 glaciares estudiados post año 2003, muestran un balance negativo. En la Tabla 10, se pueden identificar los glaciares que poseen estudios en balance de masa.

De los glaciares estudiados por superficie areal en el país, todos presentan un retroceso areal, excepto el glaciar El Rincón, ubicado en la Región Metropolitana. Entre los glaciares que destacan con mayor porcentaje de variación negativa en su superficie areal son: los glaciares ubicados en Nevados de Chillán, Región del Biobío (actual Región de Ñuble), los glaciares del Volcán Sillajuay, ubicado en la Región de Tarapacá y los glaciares del volcán Lonquimay, en la Región de La Araucanía. En la Figura 32, se pueden identificar los glaciares que poseen estudios de la superficie areal.

En el caso de los glaciares, aún falta mucha información por recabar, ya que Chile debiera avanzar hacia estudios de vulnerabilidad de glaciares por el posible impacto del cambio climático que podría afectar una de las reservas hídricas estratégicas para el país.

Se han registrado variaciones negativas en frentes y áreas para la mayoría de los glaciares de todas las zonas glaciológicas a lo largo de Chile (DGA, 2011).

FIGURA 32
VARIACIONES DE SUPERFICIE AREAL DE LOS
GLACIARES EN CHILE



- Capital regional
- Límite de cuencas
- Límite internacional
- Avance Glaciar
- Retroceso Glaciar
- Glaciares

DATUM WGS 1984 , PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

Menos del 1% de los
 glaciares a nivel nacional
 han sido estudiados en su
 variación areal, frontal y/o
 balances de masa.

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030. Basado en DGA, 2011.

TABLA 10

GLACIARES CON ESTUDIOS DE BALANCE DE MASA A NIVEL NACIONAL

Glaciares	Latitud	Longitud	Acumulación (cm e.a)	Ablación (cm e.a) ⁴⁷	Balace de masa neto (cm e.a)	Período
Balace de Masa antes del año 2003						
Tapado	30,15005	69,924231	54	24	30	1920-1998
Echaurren Norte	33,57718	70,131653	269	293	-24	1975/76-2008/09
San Rafael	46,71749	73,513717			345	1984
Chico	49,1116	73,211923			57	1994/95-2001/02
NEF	46,71749	73,513717			220	1996
Tyndall	51,11248	73,427553			1540	1998/99
Aparejo	33,5573	69,991697			100	1980-2000
Balace de Masa después del año 2003						
Volcán Mocho	39,92	72,03	258	346	-88	2003/04
Aparejo	33,5573	69,991697			-70	2000-2015
Volcán Mocho	39,92	72,03			-137	2009/10
Tapado	30,15005	69,924231	157	-113,8	-98,1	2011-2012
Toro 1	29,33497	70,017776	61	-164	-103	2011/12
Guanaco	29,35026	70,020068	13	-84	-71	2011/12
Estrecho	29,35026	70,015212	5	-135	-130	2011/12
Ortigas 1	29,38817	70,055524	29	-146	-117	2011/12
Pirámide	33,57192	69,893078	75	194	-118	2013/14

Fuente: DGA, 2011.

47: 1 cm e.a = centímetros equivalentes en agua

4.2.2. Exceso de agua: Alerta de desastres

De cada diez eventos naturales registrados en la Región latinoamericana, siete se deben a tormentas e inundaciones (Holt, 2014. Citado en Báez *et al.*, 2017).

Los desastres naturales se componen de dos elementos: i) un evento causante (externo) y ii) las consecuencias que éste genera en los grupos vulnerables o afectados. Una condición necesaria para la ocurrencia de desastres es la presencia de población humana, infraestructura, producción de bienes y servicios, entre otras actividades y/o presencia humana, en un lugar determinado.

A partir de la recopilación e integración de información a nivel nacional y su posterior análisis a nivel comunal de los eventos registrados entre los años 1912 y 2017 (Urrutia y Lanza, 1993; LA RED, 2014; SERNAGEOMIN, 2017 y otros medios periodísticos), se obtuvo como resultado una base de datos con un total

de 514 eventos a nivel país durante 106 años. Este valor refleja el nivel de impacto de dichos fenómenos a nivel nacional.

Con el fin de visualizar una comparación respecto al número de eventos antes y después del año 2000, se analizaron para el siglo XX (89 años) y el siglo XXI (17 años). En la Tabla 11 se resumen los resultados de eventos a nivel nacional, donde se muestra que, en el caso de los tsunamis, el siglo XXI ha superado el número de eventos del siglo XX y, en cuanto a los aluviones, si se mantiene la tendencia actual en el siglo XXI, se superaría el número de eventos registrados en el siglo XX. Las inundaciones a nivel nacional, muestran que el siglo XXI está aún lejos de alcanzar el número de eventos registrados en el siglo XX.

La Tabla 12 resume los resultados de eventos a nivel regional. Se debe tener presente que un mismo evento pudo afectar a diferentes regiones, por lo tanto, a nivel país es cuantificado una sola vez mientras que a nivel regional es cuantificado por cada región afectada.

TABLA 11:
NÚMERO DE INUNDACIONES, ALUVIONES Y TSUNAMIS REGISTRADOS A NIVEL NACIONAL, SIGLO XX Y SIGLO XXI

Región	Inundación ⁴⁸		Aluviones ⁴⁹		Tsunamis ⁵⁰	
	Siglo XX ⁵¹	Siglo XXI ⁵²	Siglo XX	Siglo XXI	Siglo XX	Siglo XXI
Total país	323	116	39	30	1	5

Fuente: ERIDANUS, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

48. Inundaciones: anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localizan poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura en aquellas regiones secas o cauces secos en los que las lluvias ocasionales los producen.

49. Aluviones: avenidas torrenciales con arrastre de grandes cantidades de material sólido (guijarros, gravas y bloques de rocas), aplicable a aquellas regiones secas o cauces secos en los que las lluvias ocasionales los producen.

50. Tsunami: aplicado a olas generadas por movimiento en el fondo del mar, generado por sismos, erupciones volcánicas o deslizamientos.

51. Siglo XX: registro entre los años 1912 y 1999.

52. Siglo XXI: registro entre los años 2000 y 2017.

El tipo de evento que genera desastres y posee mayor predominancia a nivel nacional son las inundaciones con 439 eventos durante el período recopilado. Esto es válido tanto para el siglo XX (323 eventos) como para el siglo XXI (116 eventos), alcanzando un 86% de los eventos nacionales.

En el siglo XX, la Región Metropolitana presenta el mayor número de eventos por inundaciones (105 eventos), seguida por la Región de Valparaíso (79 eventos) y la Región de Antofagasta (62 eventos). Durante el siglo XXI, las inundaciones comienzan a trasladarse hacia el sur,

donde las regiones del Biobío (38 eventos), La Araucanía (27 eventos) y Metropolitana (26 eventos) son las que presentan una mayor cantidad de eventos registrados.

Respecto a los aluviones, en el siglo XX es la Región de Antofagasta la que presenta un mayor número (20 eventos), le sigue Atacama (11 eventos) y Tarapacá (ocho eventos). Para el siglo XXI, Antofagasta se mantiene con la mayor cantidad de aluviones a nivel nacional (nueve eventos), le sigue Valparaíso (seis eventos) y Los Ríos (cinco eventos), mostrando un aumento de este fenómeno hacia las regiones del sur.

TABLA 12:
NÚMERO DE INUNDACIONES, ALUVIONES Y TSUNAMIS REGISTRADOS POR REGIÓN, SIGLO XX Y SIGLO XXI

Región	Inundación		Aluviones		Tsunamis	
	Siglo XX	Siglo XXI	Siglo XX	Siglo XXI	Siglo XX	Siglo XXI
Arica y Parinacota	48	16	2	1	0	0
Tarapacá	19	18	8	2	0	1
Antofagasta	62	23	20	9	0	0
Atacama	42	14	11	3	0	0
Coquimbo	58	9	3	1	0	1
Valparaíso	79	15	5	6	0	1
Metropolitana	105	26	3	3	0	0
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	10	13	0	1	0	0
Maule	15	18	1	0	0	1
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 Gral. Carlos Ibáñez del Campo	17	4	2	1	0	2
Magallanes y Antártica Chilena	14	4	0	0	0	1

Fuente: Eridanus, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

La zona norte presenta las regiones con mayor número de inundaciones y aluviones, con una tendencia a la baja a medida que se avanza hacia el sur de Chile. Sin embargo, cuando se analizan los datos por siglos, es posible ver que ambos eventos han aumentado hacia el sur durante los últimos 17 años, principalmente entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos, lo que podría ser explicado principalmente por un aumento en la intensidad de las precipitaciones (gran volumen de lluvias en corto tiempo), efecto donde podría influir el cambio climático.

Los eventos de tsunamis han sido registrados principalmente en el centro, sur y extremo sur del país. Durante el siglo XXI se marca una diferencia en este tipo de eventos en las regiones de Biobío (dos eventos) y Aysén (dos eventos).

Además de mostrar el número de eventos vinculados al exceso de agua y registrados en el período de análisis, se realiza una representación territorial de los mismos, clasificados por tipo de eventos, donde los colores más oscuros muestran las comunas con un mayor número de eventos que los colores más claros.

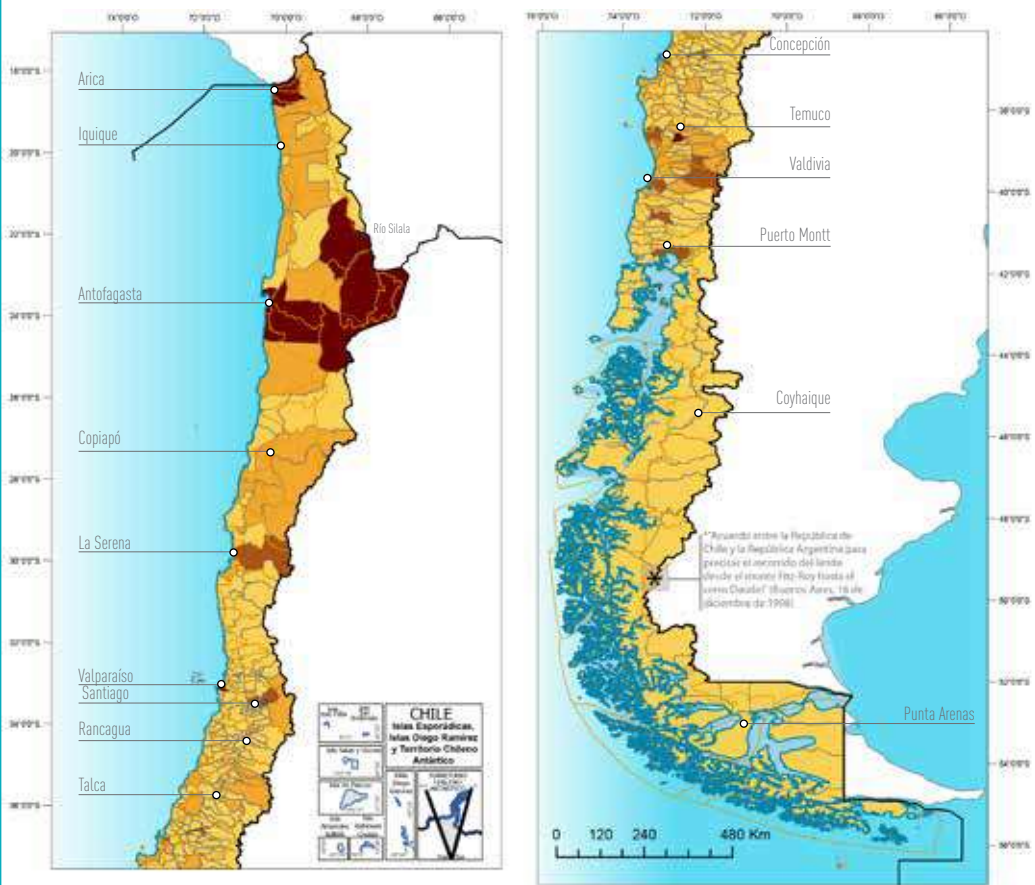
En la Figura 33 se muestra la distribución espacial por comuna del total de eventos registrados de exceso hídrico en el período 1912-2017. La Figura 34 muestra las inundaciones, la Figura 35 los aluviones y la Figura 36 los tsunamis, todos ellos a nivel comunal.

Dado que la información relacionada con el exceso de agua no ha sido sistematizada adecuadamente en Chile, el trabajo realizado en este ámbito recopila información oficial y de prensa histórica.



FIGURA 33

**NÚMERO DE EVENTOS TOTALES DE EXCESO HÍDRICO
DISTRIBUÍDO POR COMUNAS EN CHILE (PERÍODO 1912 - 2017)**



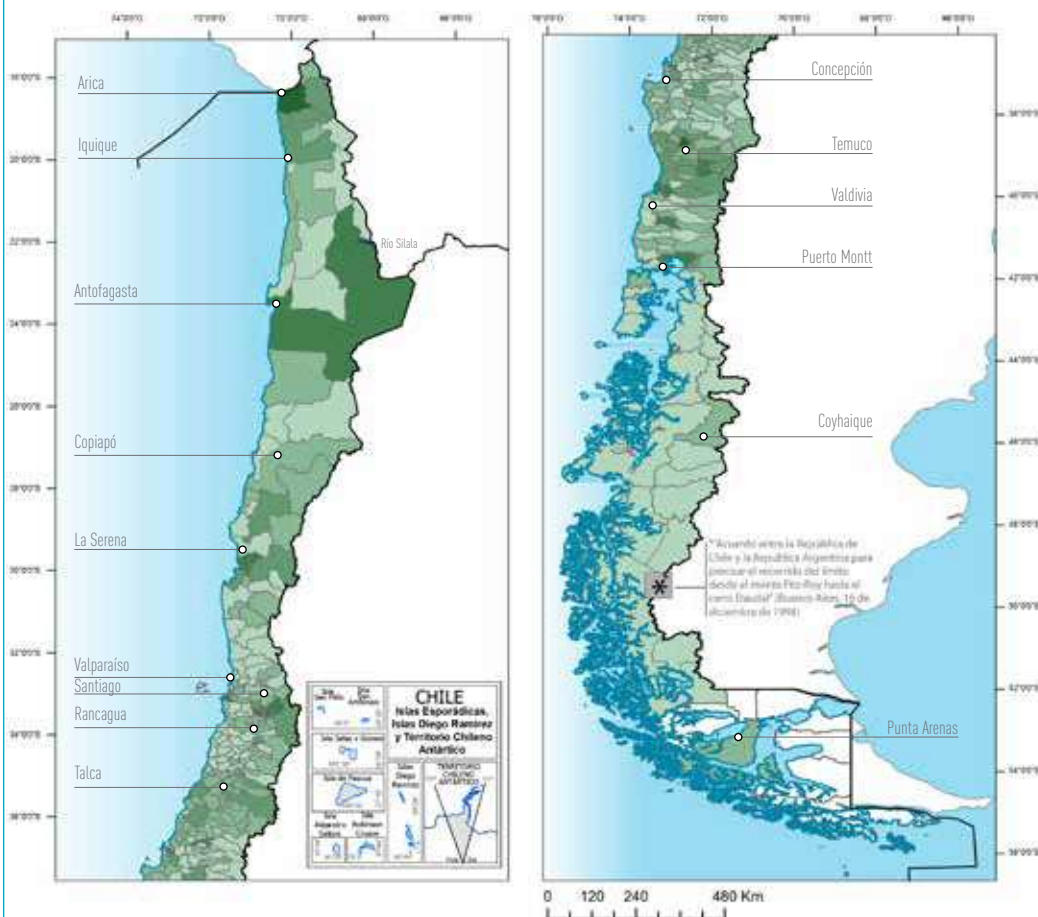
DATUM WGS 1984 , PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

- Capital regional
- Límite internacional
- Límites de cuenca
- Límites comunales
- Sin eventos
- Entre 1 y 13 eventos
- Entre 4 y 20 eventos
- Entre 21 y 28 eventos
- Entre 29 y 44 eventos

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Eridanus, 2018.

FIGURA 34

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



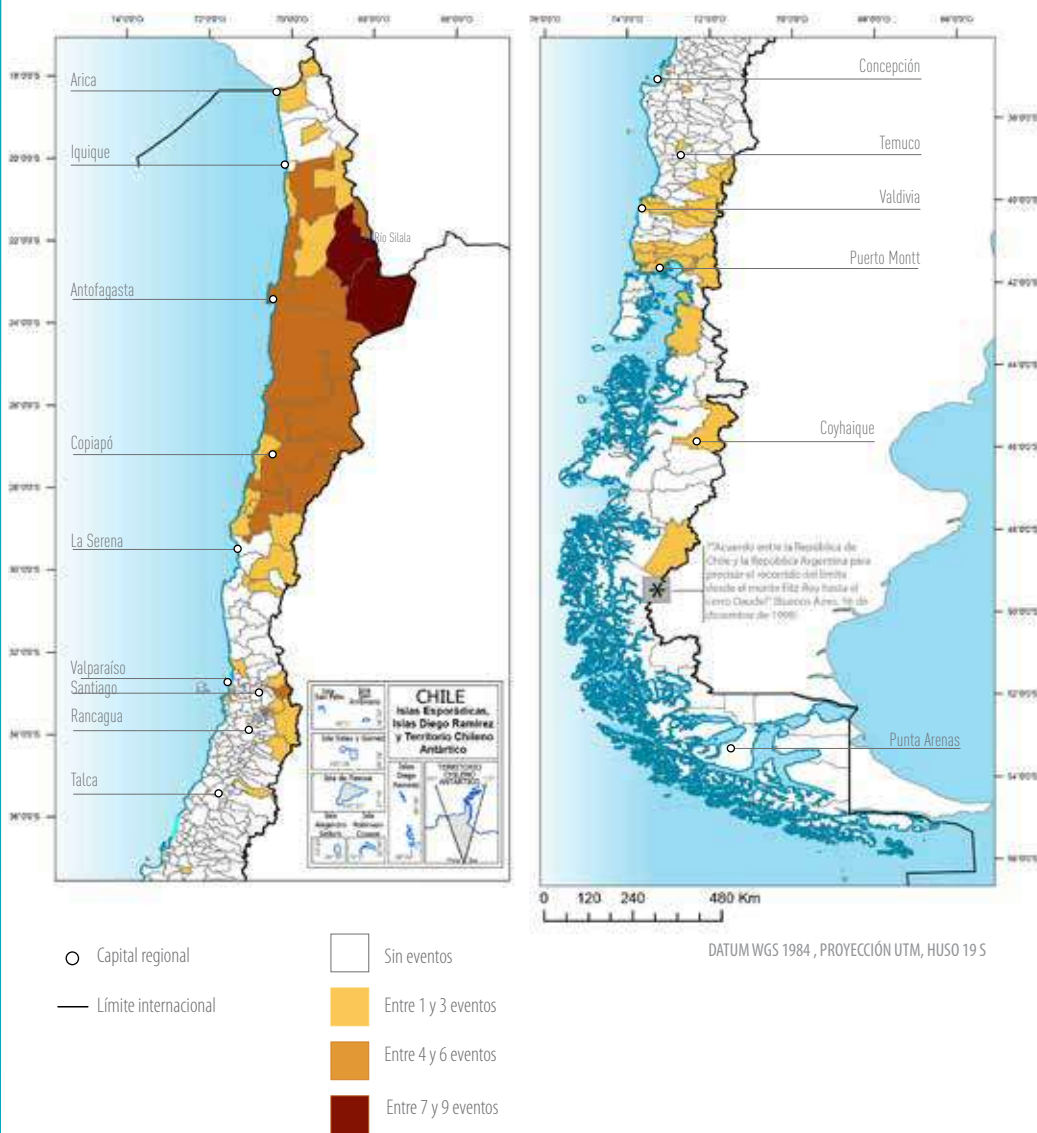
DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

- | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ○ Capital regional | □ Sin eventos | ■ Entre 15 y 21 eventos |
| — Límite internacional | ■ Entre 1 y 9 eventos | ■ Entre 21 y 31 eventos |
| — Límite comunal | ■ Entre 10 y 14 eventos | ■ Entre 32 y 42 eventos |

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Eridanus, 2018.

FIGURA 35

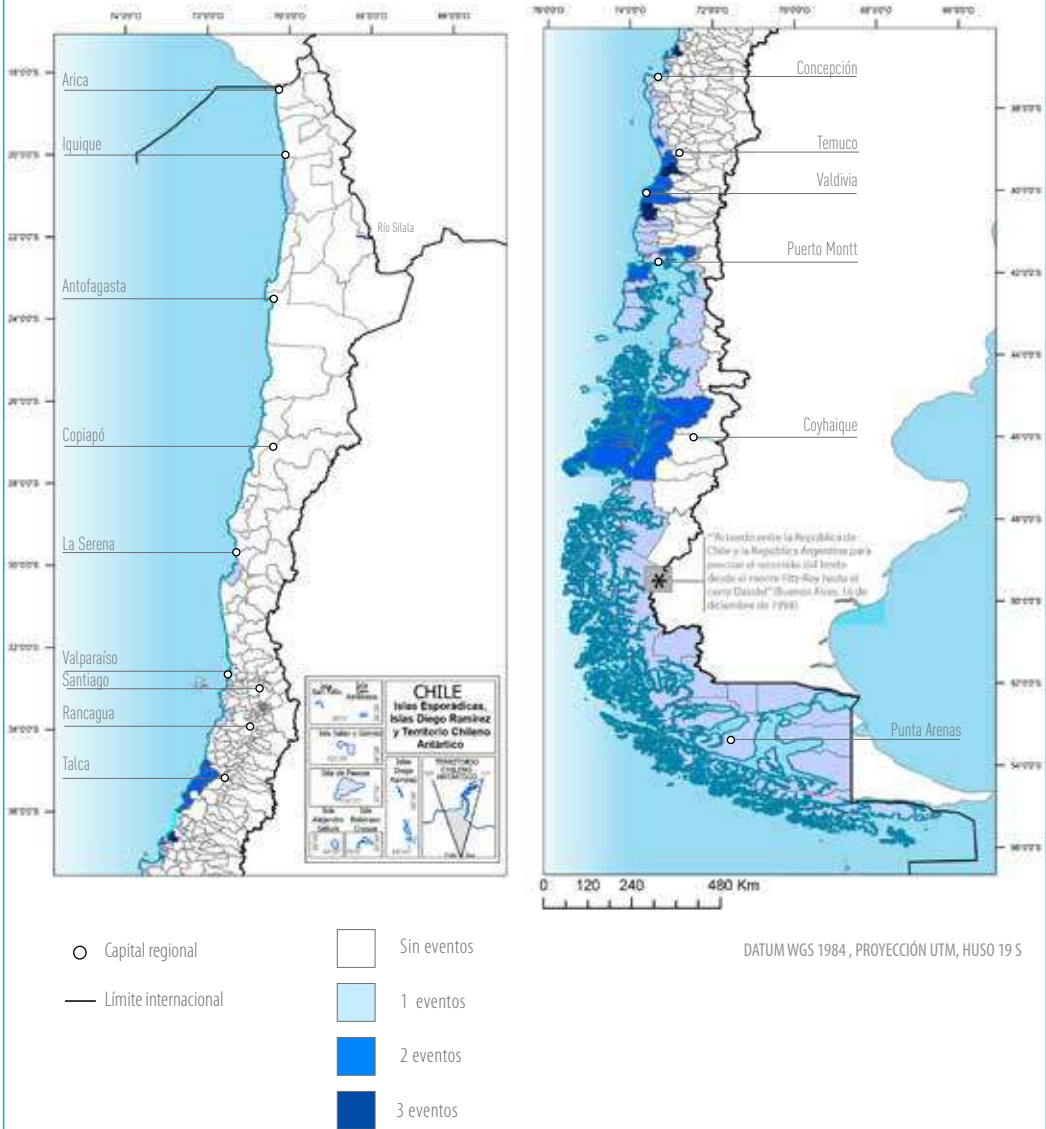
NÚMERO DE EVENTOS DE ALUVIONES DISTRIBUIDO POR COMUNAS EN CHILE (PERÍODO 1912-2017)



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Eridanus, 2018.

FIGURA 36

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



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Eridanus, 2018.

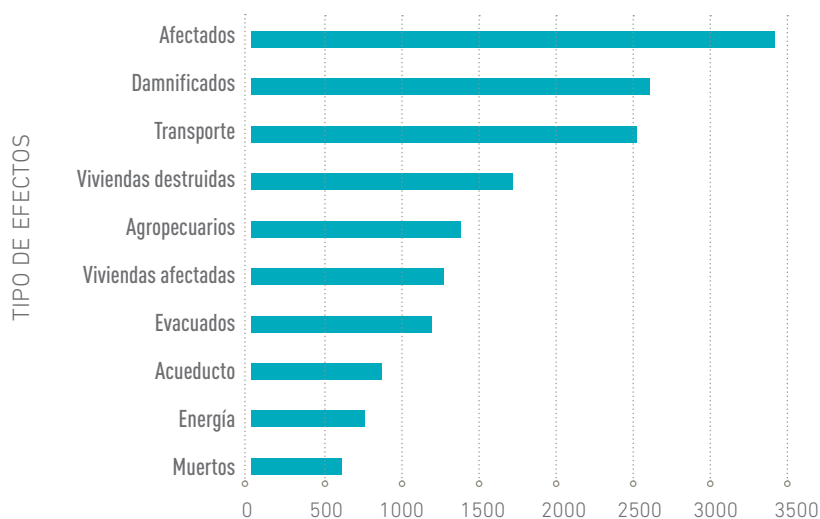
La Figura 37 muestra el número de eventos registrados comunales a nivel nacional para los 10 efectos con mayor número de registro o frecuencia acumulada, período 1912-2017 (ver Glosario de términos). Por ejemplo, la categoría de “Afectados⁵³” es la que presenta la mayor cantidad de eventos o la que posee una mayor frecuencia, con 3430 eventos comunales que manifiestan este efecto.

Según Eridanus (2018), dentro del mismo análisis, los tipos de efectos “Afectados”, “Damnificados”, “Evacuados” y “Muertos”

comunican información relativa a las consecuencias de los desastres sobre las personas y su flujo fuera de la zona de peligro, por lo que se puede establecer una relación entre dichas variables. Al observarlas en conjunto provee una visión global de la planificación en un enfoque particular asociado a las “consecuencias directas sobre las personas”.

Por otra parte, “Viviendas Afectadas⁵⁴”, “Viviendas Destruídas⁵⁵”, “Transporte⁵⁶” y “Acueductos⁵⁷” permiten tener una

FIGURA 37
CANTIDAD DE EVENTOS COMUNALES POR TIPO DE EFECTOS REGISTRADOS A NIVEL NACIONAL, PERÍODO 1912-2017.



Fuente: Eridanus, 2018. Elaborado para Escenarios Hídricos 2030.

53. **Afectados:** Número de personas que sufren efectos indirectos o secundarios asociados a un desastre. Corresponde al número de personas, diferentes a damnificados, que sufren el impacto de los efectos secundarios de los desastres por razones como deficiencias en la prestación de servicios públicos, en el comercio, o en el trabajo, o por aislamiento.

54. **Viviendas afectadas:** Número de viviendas con daños menores, no estructurales o arquitectónicos, que pueden seguir siendo habitadas, aún cuando requieran de acciones de reparación o de limpieza.

55. **Viviendas destruidas:** Número de viviendas arrasadas, sepultadas, colapsadas o deterioradas de tal manera que no son habitables.

56. **Corresponde con efectos del desastre sobre el sector del transporte:** Redes viales (vehiculares, férreas), terminales de transporte, aeropuertos, puentes fluviales y marítimos, muelles, etc. afectados y/o destruidos.

57. **Se relaciona con los daños en el sector de agua potable:** Tomas de agua, plantas de tratamiento, acueductos y canales de conducción de agua potable, tanques de almacenamiento, etc.

visión del impacto de los eventos sobre la infraestructura, en términos de hogares perdidos, las comunas o regiones más afectadas por los cortes de camino (lo que provoca zonas susceptibles de quedar aisladas), y la pérdida de infraestructura sanitaria. Si se incorpora la variable de “pérdidas económicas”, este conjunto de variables permite evaluar una serie de gastos asociados a las medidas durante y después de un desastre o un conjunto de desastres.

Los efectos asociados a las variables “Agropecuaria⁵⁸” y “Energía⁵⁹” implican un impacto de índole productiva, dando información de afectación de la primera actividad y también de la afectación del suministro energético, sensible para el funcionamiento operativo de cualquier centro urbano y productivo, con su respectivo impacto en el área sanitaria, comercial y de seguridad.

Un aspecto clave que se desprende de este análisis, es que dependiendo del tomador de decisiones que use la base de datos, éste puede configurar su propio set de variables de análisis o efectos, para el Manejo de Desastres (MD).

Lo anterior se produce entendiendo que existen distintos organismos competentes a resolver temas de abastecimiento, reparación de infraestructura, suministros, etc., y otros asociados directamente al estudio mismo de los efectos, contabilizando fatalidades, sistemas de evacuación, priorizando zonas con alto número de damnificados, etc. Es decir, cada tomador

de decisiones tiene la posibilidad de fijar sus propios criterios y conjunto de variables de análisis a considerar, lo cual permite resaltar la flexibilidad de la base de datos.

4.2.3. Calidad: problemas hacia el norte

Como se mencionó en la metodología, el ICAS se construye con la información de calidad de aguas disponible en las estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA), las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de Chile en las diferentes cuencas. Las regiones de Atacama y Magallanes son las que poseen una cantidad limitada de datos y estaciones de calidad de aguas, concentrando la información en algunas cuencas particulares de estas regiones.

En términos nacionales, se puede observar que en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, domina una calidad de agua insuficiente durante todo el año, principalmente por el contenido de arsénico, limitando su uso prioritario.

Cabe destacar que la Región de Antofagasta es la que presenta mayor cantidad de estaciones con calidad insuficiente en ambos quinquenios evaluados, situación que se asocia a los altos niveles de Arsénico. Estos registros están asociados al río Loa y a la cuenca del Salar de Atacama; luego le siguen las cuencas del río Lluta, río Camarones, cuenca altiplánica y Pampa del Tamarugal. En el último quinquenio se evidencia una pequeña mejoría en la calidad de agua en las cuencas altiplánicas.

58. Se relaciona con los daños en el sector agropecuario: campos de cultivos, granjas, zonas de pastoreo, etc.

59. Se relaciona con los daños en el sector energético: presas, subestaciones, líneas de transmisión, plantas de generación, plantas de procesamiento de energéticos y depósitos combustibles, oleoductos, gasoductos, plantas nucleares.

Las regiones desde Atacama hasta O'Higgins presentan, en general, una buena calidad de agua. Particularmente en la cuenca endorreica entre Frontera y Vertiente del Pacífico en la Región de Atacama, se presenta una calidad insuficiente en primavera y verano por concentraciones de arsénico.

En la Región de Coquimbo, durante el primer y segundo quinquenio, hay 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 una estación con calidad insuficiente en

verano del primer quinquenio, durante el segundo quinquenio presenta 10 estaciones con calidad insuficiente, principalmente por Arsénico. En primavera, hay dos estaciones con calidad insuficiente durante el primer quinquenio. También se han encontrado cobre, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y mercurio. En general las estaciones de la región 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 ocho estaciones con calidad insuficiente durante el primer quinquenio, las cuales corresponden en su mayoría al río Mapocho, salvo una

En las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, domina una calidad de agua insuficiente durante todo el año, principalmente por el contenido de arsénico, limitando su uso prioritario.



ubicada en el estero Pangue. En el segundo quinquenio, sólo se observa una estación insuficiente ubicada en el Estero Alhué. En la época de otoño presenta un aumento de dos a cuatro estaciones 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.

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.

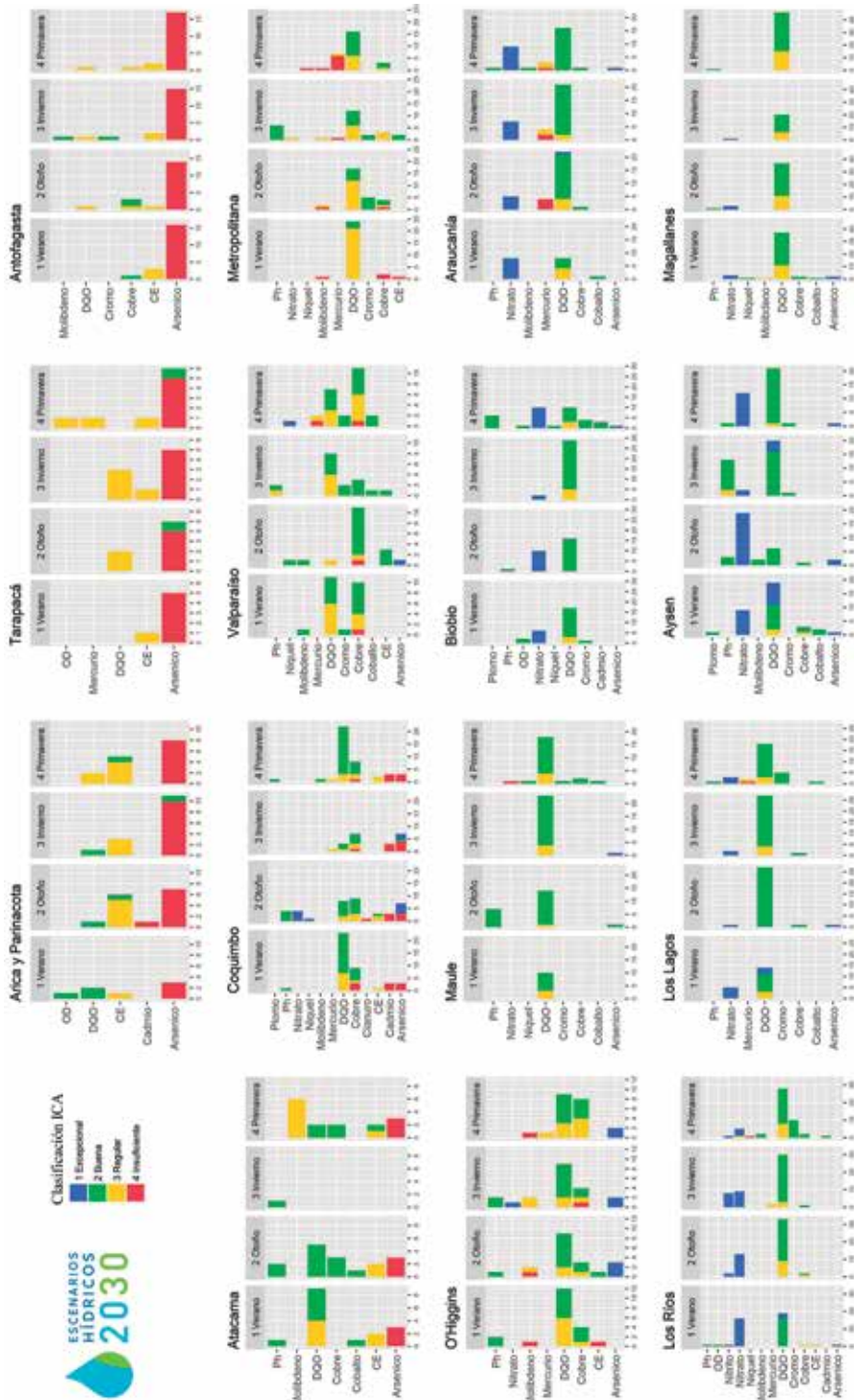
En general en las regiones de la zona central, el período 2011-2016 presenta una mejora respecto al periodo anterior, salvo en la Región de Valparaíso en la época de verano, donde la calidad clasificada como insuficiente aumenta de uno a 10 estaciones, producto del contenido de arsénico.

La zona sur del país, desde el Maule hasta Magallanes, tiene una clara dominancia de buena calidad en el período 2006-2011 y pasando a una calidad excelente en el 2011-2016. En algunas estaciones se muestra la DQO como parámetro sobresaliente. Existen estaciones particulares que tienen calidad insuficiente en la zona sur, las que se encuentran en la estación río Teno, antes junta Mataquito en la Región del Maule, con presencia de nitrato en primavera; los ríos Biobío, Chillán y Ñuble en la Región del Biobío, hay una estación con Conductividad Eléctrica (CE) con calidad insuficiente en verano, tres estaciones afectadas por arsénico, CE y pH en otoño y una estación en primavera afectada por arsénico; los ríos Cholchol, Muco, Pucón y Donguil en la Región de La Araucanía, durante el primer quinquenio presenta mercurio en otoño, al igual que río Bueno en la Región de Los Lagos, en primavera.

Las Figuras 38 y 39 muestran los parámetros de calidad de agua de acuerdo a la aplicación del ICAS por región, en los quinquenios 2006-2011 y 2011 a 2016.



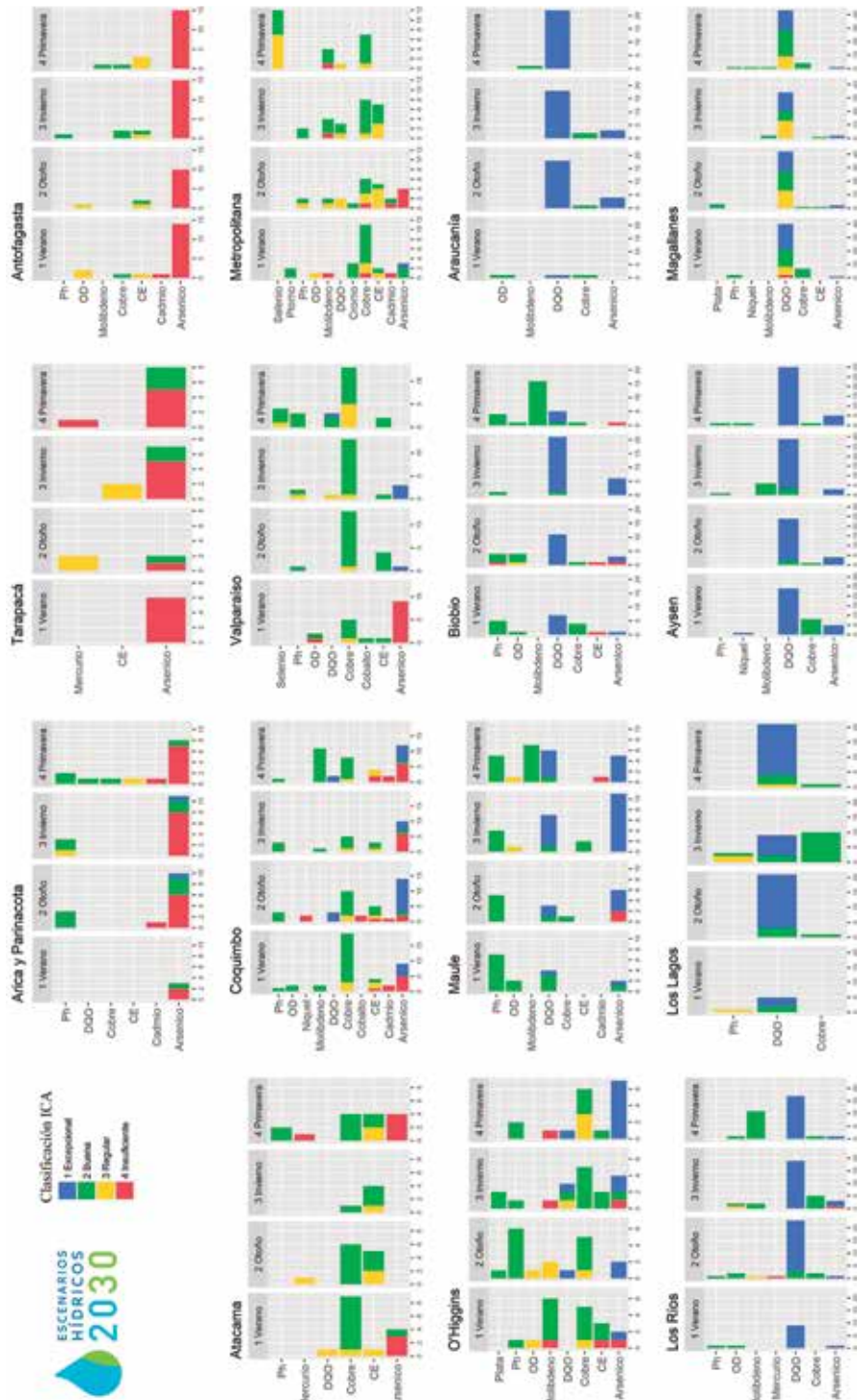
FIGURA 38: PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DE ACUERDO A APLICACIÓN DEL ICAS POR REGIÓN, EN EL QUINQUENIO 2006-2011.



Número de estaciones DGA donde el ICA fue determinado por cada parámetro en cada Región

Fuente: Girardi et al., 2018. Elaborado para Escenarios Hídricos 2030.

FIGURA 39: PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DE ACUERDO A APLICACIÓN DEL ICAS POR REGIÓN, EN EL QUINQUENIO 2011-2016.



Número de estaciones DGA donde el ICA fue determinado por cada parámetro en cada Región

Fuente: Grandi et al., 2018. Elaborado para Escenarios Hídricos 2030.

A nivel nacional, considerando el último quinquenio (2011 - 2016), la mayor cantidad de estaciones de monitoreo que presentan una calidad insuficiente se manifiestan

durante el verano, principalmente porque los caudales disminuyen, aumentando así la concentración de los parámetros medidos.

FIGURA 40
ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES,
QUINQUENIO 2011-2016 EN VERANO

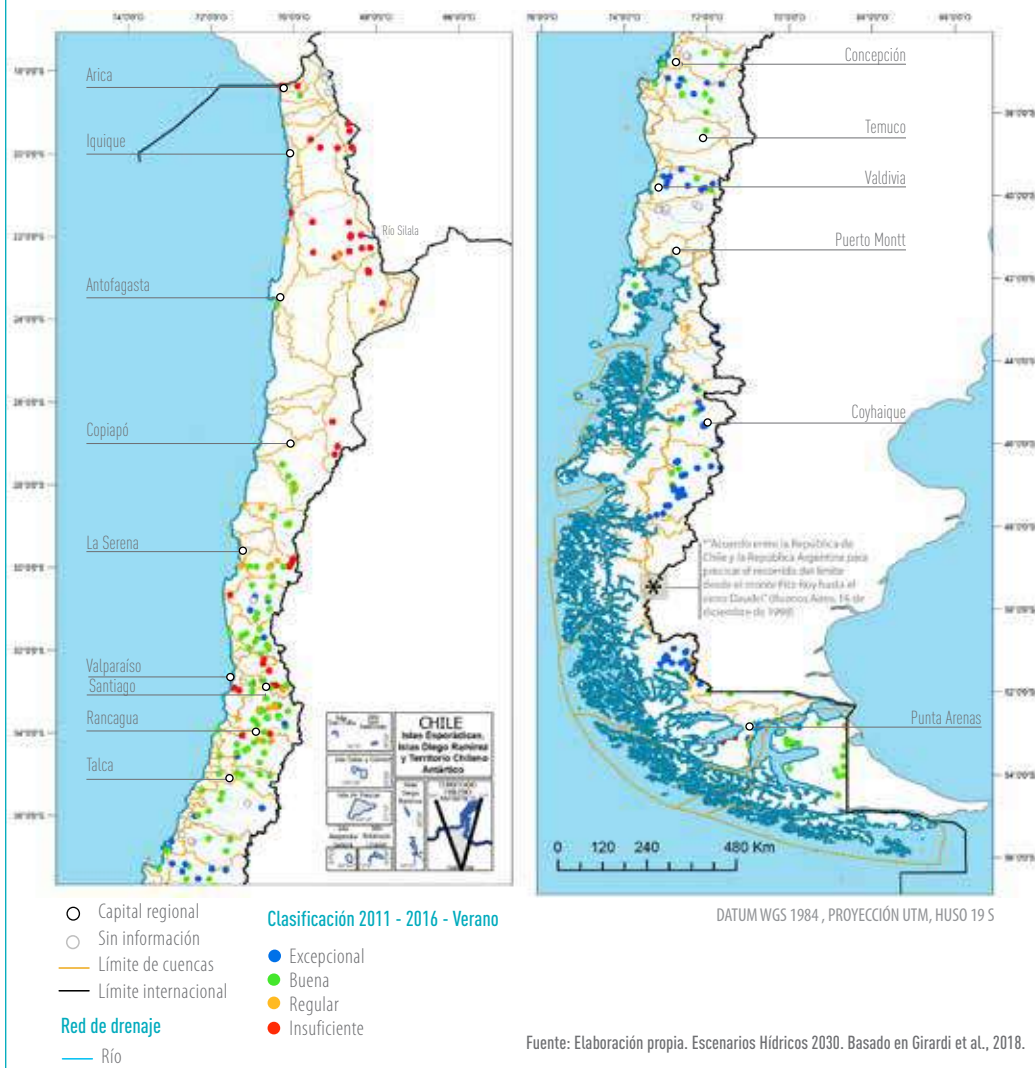
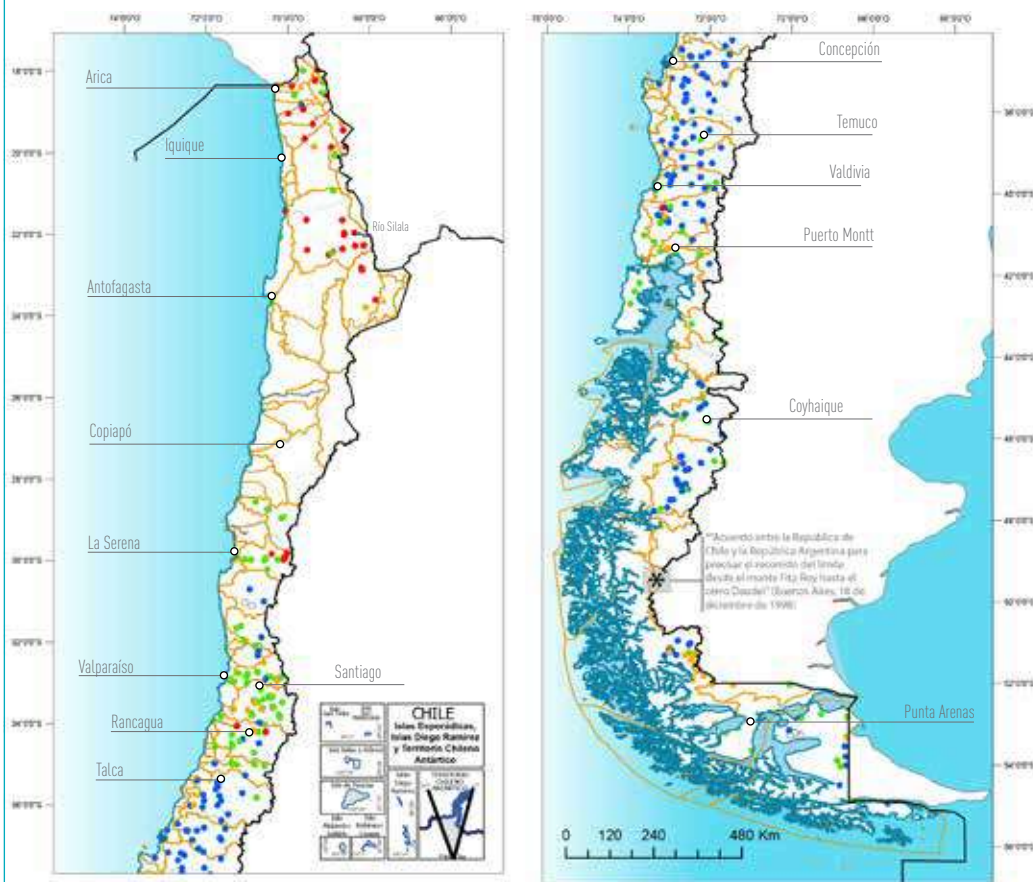


FIGURA 41
ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES,
QUINQUENIO 2011-2016 EN INVIERNO



Clasificación 2011 - 2016 - Invierno

DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

- Capital regional
- Sin información
- Límite de cuencas
- Límite internacional
- Excepcional
- Buena
- Regular
- Insuficiente

Red de drenaje

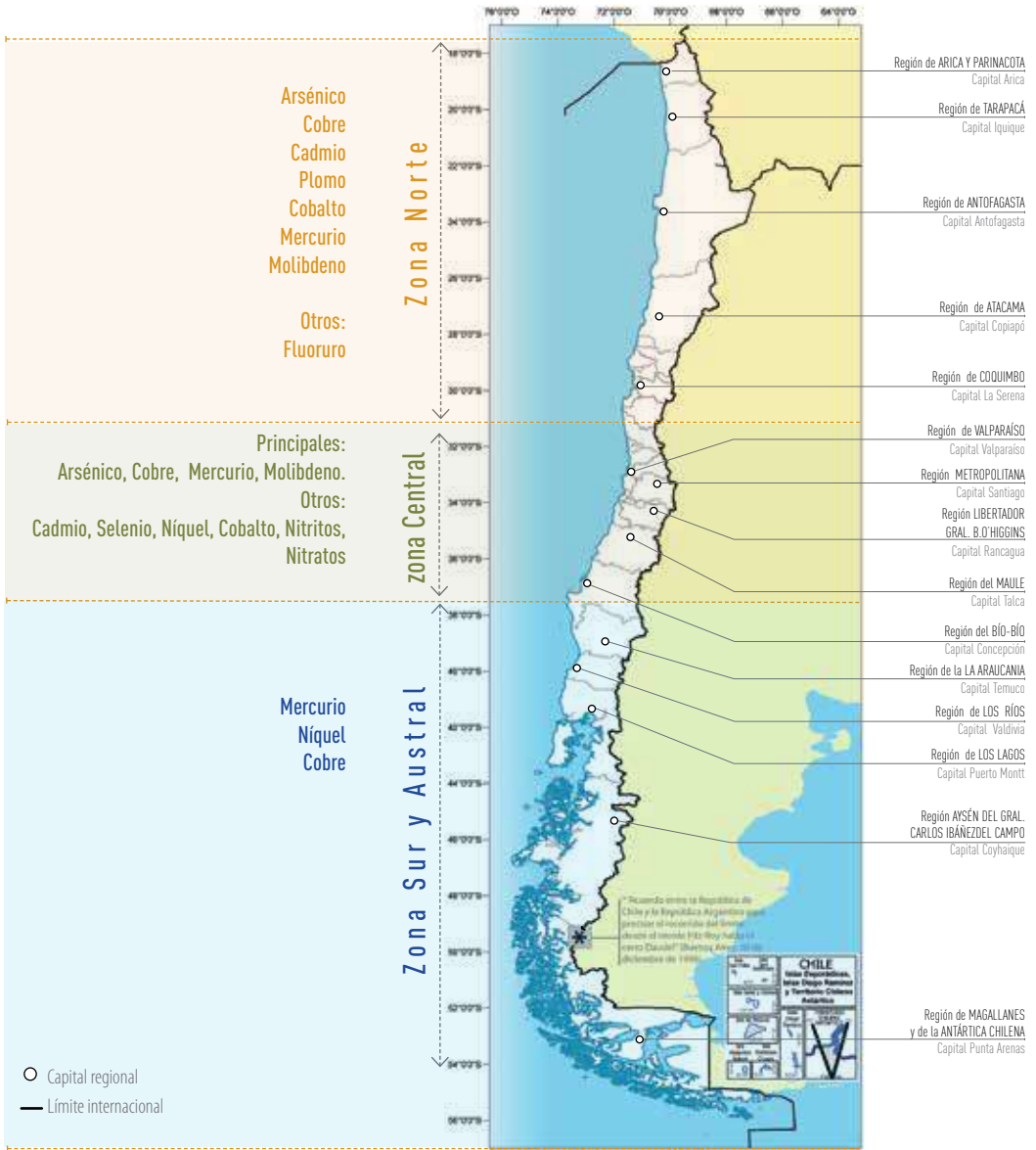
- Río

Sería relevante monitorear los pesticidas y orgánicos a nivel nacional en forma periódica, para ser incluidos en los análisis de calidad de agua.

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030. Basado en Girardi et al., 2018.

FIGURA 42

PARÁMETROS QUE DESTACAN DURANTE EL PERIODO 2006 AL 2016 EN LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030. Basado en Girardi et al., 2018.



5. LIMITACIONES EN LA INFORMACIÓN

Una de las consignas iniciales para el desarrollo de la Radiografía del Agua fue que se trabajaría con la mejor información disponible y la más actualizada. 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-, fue importante poder determinar dónde están esos vacíos y de qué tipo son; si se dan en algún parámetro en particular, y en qué zonas específicas.

Teniendo claro donde están las brechas de información, se puede avanzar hacia la incorporación futura de esos datos, entendiendo que esta Radiografía del Agua es perfectible y puede continuar fortaleciéndose en el tiempo con mayores antecedentes y que las Hojas de Ruta pueden establecer -dentro de sus oportunidades- el desarrollo en el corto plazo de estudios que permitan complementar información crítica, entre otros aspectos claves para avanzar.

A continuación, se detallan las limitaciones de información para cada uno de los componentes desarrollados, reportados por los expertos nacionales e internacionales.

5.1 OFERTA HÍDRICA REFERENCIAL

Al realizar el análisis de la Oferta hídrica referencial, se encontraron las siguientes brechas de información:

Acuíferos, lo que ocurre bajo tierra. Esta es una de las principales brechas en la Oferta hídrica referencial. El balance hídrico nacional de 1987 no necesariamente considera aporte subterráneo. Además, a lo largo de Chile presenta un aporte relativo diferente: en el sur es bastante menor que la escorrentía superficial, mientras que en el norte el orden de magnitud de ambos caudales es el mismo; en ciertos casos, como las cuencas endorreicas, sólo se presenta recarga subterránea.

Gran parte de la información hídrica en el país está desactualizada o incompleta.

Como se indicó en la metodología del estudio respectivo, las regiones australes carecen de informes actualizados sobre la oferta, siendo la data estimada de 1987, la única fuente en estas zonas. Caso similar ocurre en las zonas del norte y sur, específicamente las regiones XV, I, XIV y X, donde si bien existen estudios de sus cuencas principales y se presenta la información subterránea, no se realizan balances hídricos completos en éstas.

Metodologías y criterios no uniformes para Balances Hídricos.

Esto produce diferentes formas de presentar los resultados por las fuentes de información (DGA, IHN, otros), por lo tanto, el análisis de la Oferta hídrica referencial se limita a la verificación de los valores y se mantiene la forma de presentación.

5.2. DEMANDA DE AGUA

Derechos de Aprovechamiento de Aguas

La información presente en el Catastro Público de Aguas de la Dirección General de Aguas posee algunos vacíos de información que limitaron el análisis desarrollado en esta Radiografía del Agua. Dichas carencias se relacionan con los siguientes aspectos:

- El Catastro Público de Aguas contiene los Derechos de Aprovechamiento de Aguas debidamente registrados e inscritos, aunque no se acredita la vigencia del dominio de los mismos.
- Este Catastro Público de Aguas no incluye aquellos derechos no inscritos debidamente según lo establecido en la ley, por lo que impide el total análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas existentes en el mercado.
- Los derechos de aprovechamiento de aguas inscritos en el Catastro Público de Aguas se expresan en términos de volumen o en acciones. La conversión a volumen de los derechos de agua registrados como acciones, de modo que permita establecer volúmenes de agua otorgados, es compleja y debe realizarse basada en un estudio caso a caso. Lo anterior, permitiría estimar el volumen de agua que fue distribuido para un año determinado, de manera de poder realizar el análisis cuantitativo respectivo.
- Una proporción importante de los derechos de aprovechamiento de aguas inscritos en el Catastro Público de Aguas, no especifican el uso particular

o se asignan bajo la clasificación de "otros usos", lo que impide vincularlo a su uso productivo respectivo.

Captación y consumo de aguas

Tanto el acceso como la cantidad de información disponible son parte de las limitaciones que se encuentran para caracterizar a los sectores productivos y establecer el uso de agua de las diferentes actividades que se desarrollan en las regiones y comunas del país.

Debido a que la información es manejada por diferentes instituciones, tanto públicas como privadas, a veces ésta se presentó de manera incompatible con el resto de los datos o representaba sólo parte de los sectores.

En lo referente a las limitaciones encontradas en el sector agua potable y saneamiento, las más relevantes corresponden a la escasa o casi nula información referente al sector rural. Dentro de la información real disponible, sólo se contó con el catastro de APR actualizado al 2016. La base de datos de las plantas de tratamiento rural, entregada por SUBDERE, no se encuentra actualizada y no siempre coincidió con la información de la Dirección de Obras Hidráulicas. Por ello, se decidió utilizar la única caracterización del sector agua potable y saneamiento rural que se encuentra en el Censo De Población y Vivienda (2002).

Para el sector silvoagropecuario, las principales limitaciones que se presentan para el cálculo de las huellas hídricas están relacionadas con la información disponible. Entre ellas destacan:

- Temporalidad de los datos. El Censo se realiza cada 10 años y, debido a que el sector es dinámico, puede que haya tenido cambios desde el año 2007.
- Unidad geográfica en la que se presenta la información. En general, la información que se actualiza cada año, gracias a las encuestas que realiza ODEPA u otras instituciones, es publicada a nivel regional. La información a este nivel dificulta el análisis territorial, ya que implica que ésta debe ser asignada a unidades más pequeñas (comuna, cuenca, otras) en base a supuestos.
- La información agroclimática (evapotranspiración y precipitaciones). También representa una brecha, ya que en gran parte la información está disgregada en distintas instituciones, lo que dificulta su recopilación y estandarización.
- Los coeficientes de evapotranspiración, tanto agrícola como forestal, son valores tomados de la bibliografía nacional e internacional.
- Para el sector minero se dispone de buena información tanto en términos de los niveles de producción a nivel regional como de los consumos de agua para la gran y mediana minería del cobre, gracias a los reportes anuales gestionados por COCHILCO. A la fecha del estudio (2017) no existe información pública de la producción minera a nivel comunal, sin embargo, la gran Minería de cobre siendo uno de los grandes consumidores de agua a nivel nacional, es la que presenta mayor información secundaria, lo que permite realizar cruces de información entre la producción de cobre y su consumo hídrico a nivel comunal. Lo anterior dificulta el levantamiento de información de estos para el resto de la minería.



5.3. DÉFICIT HÍDRICO

• Tendencia en niveles de pozos

Si bien se cuenta con estaciones de monitoreo del nivel en pozos de aguas subterráneas, se encontró que gran parte de ellos no tenían la frecuencia de medición mínima para hacer un análisis estadístico robusto. Asimismo, varias estaciones de monitoreo tenían importantes lagunas de datos en el tiempo.

La red de monitoreo desde el Maule hacia el sur es deficiente. Si bien la necesidad de uso de recursos hídricos subterráneos en la zona no es una necesidad crítica en el presente, a largo plazo y bajo un contexto de cambio climático, lo podría ser.

• Tendencia de caudales superficiales

Los resultados de análisis de tendencia en caudales superficiales pueden estar influenciados por diversos factores antrópicos que se encuentran aguas arriba de las cuencas, tales como la operación de embalses de riego o de carácter hidroeléctrico, factores que no fueron incluidos dentro del análisis.

Las escalas de tiempo hidrológicas se caracterizan por abordar amplios espacios de tiempo. En esta ciencia se habla comúnmente de contar con 30 años continuos de información para la correcta caracterización de variables como caudal, precipitación o temperatura, entre otras. Frente a lo anterior, corresponde a una carencia no contar con la longitud mínima estadística de 20 años continuos de información fluviométrica.



• Glaciares

Existe escasa información de los glaciares en Chile, limitándose al estudio de alguno de ellos en superficie areal, frontal y balance de masas. El país aún no cuenta con la información necesaria para realizar un análisis de vulnerabilidad de glaciares, debido a la gran heterogeneidad del territorio.

Responder al por qué de la tasa de variación de los glaciares resulta muy complejo, ya que tanto la latitud como la altitud es muy variable de norte a sur. Es por esto que se deberían considerar distintos factores dependiendo del análisis caso a caso.

5.4. EXCESO DE AGUA

Los desastres naturales se componen de dos elementos: i) un evento causante (externo), y ii) las consecuencias que éste genera en los grupos vulnerables o afectados. La base de datos elaborada en el presente estudio incorpora ambos elementos; sin embargo, la información relativa a los efectos o consecuencias que genera un desastre no forma parte de un registro sistemático y consolidado, sino que proviene de las informaciones que la prensa recoge de las autoridades, testigos y afectados.

Aunque la prensa representa una importante fuente de información, es posible señalar que el grado de detalle de la información de prensa estará influenciado o sesgado, entre otras posibles causas, por la relevancia del territorio afectado, la disponibilidad de periodistas en la zona, el nivel de actualización de la información recopilada, entre otras.

Por ejemplo, el registro de damnificados, muertos y desaparecidos tiende a cambiar a medida que pasan los días, después de un desastre natural. En ese período se confirman muertes a partir de la búsqueda de damnificados y las autoridades han tenido más tiempo para identificar a los damnificados que requieren la ayuda del Estado. En este sentido, la información de prensa no siempre representará el conteo final de las autoridades, por lo cual se requiere que los servicios públicos se encarguen de elaborar y mantener sus propias bases de datos, con la información más actualizada y con un mayor detalle o resolución espacial (a nivel comunal).

Un ejemplo de lo señalado anteriormente se relaciona con los resultados asociados a la



variable de análisis “Muertos”. Si bien esta variable es cuantitativa, no todos los eventos indican el número de muertos. En algunos casos se sabe que hubo muertos, pero se desconoce el número, por lo que dicha variable es marcada con el indicador cualitativo “YES”. Esta situación se produce cuando un evento es reportado a una escala regional o provincial (algunas veces varias regiones), por las fuentes disponibles. Por lo tanto, en el proceso de aumento de resolución llevado a cabo en el presente estudio, se adoptó indicar el número de muertos en una sola comuna, mientras que en el resto se agregó el indicador “YES”. De esta forma, se espera conservar

la contabilidad de muertos, pero su validez principal se encuentra a escala regional.

A partir de los análisis realizados, no es posible descartar a priori posibles sesgos debido al centralismo del país, presencia de medios de comunicación, entre otros. Esto representa una brecha de información, pues se considera fundamental revisar la consistencia⁶⁰ de la información recopilada, lo cual implica un trabajo de gran volumen y recursos, pero que permitiría darle robustez a la información.

60. Se habla de consistencia si la probabilidad de que se mantenga el patrón de distribución espacial de eventos aumenta a medida que el tamaño de la muestra crece.

5.5. INDICE DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES (ICAS)

Implementar un índice de calidad para el territorio nacional ha sido un gran desafío, debido principalmente a la variabilidad de condiciones hidrológicas, geoquímicas y climáticas que presenta nuestro país.

Las principales limitantes identificadas durante el proceso de construcción y aplicación del índice propuesto, se refieren principalmente a que la disponibilidad de datos es limitada, especialmente de parámetros complementarios, algo que se agudiza en aquellas cuencas de menor importancia para los entes reguladores.

Se debe realizar un esfuerzo para incorporar, en las mediciones regulares que realizan las distintas entidades públicas, parámetros que den cuenta de la potencial afectación que las industrias más importantes del país podrían generar en la calidad de agua. En este sentido, agroquímicos, compuestos

farmacéuticos, compuestos orgánicos derivados del petróleo, compuestos orgánicos halogenados, entre otros, debieran ser parte de la batería de mediciones que realizan las entidades públicas y estar incluidos en los monitoreos exigidos a la industria.

Además, se concluye que -en muchos casos- los límites de detección para algunos parámetros son demasiado altos, haciendo imposible la aplicación de los valores de referencia de las normativas más estrictas. Por lo tanto, las entidades que realizan monitoreos de agua debieran mejorar la analítica, con el fin de poder alcanzar límites de detección lo suficientemente bajos como para aplicar normativas de calidad estrictas. Asimismo, la falta de valores de referencia para algunos parámetros en las distintas normas chilenas de calidad de agua, hace necesaria la utilización de normas internacionales de calidad, con el fin de dar mayor validez a las clases de agua que se definen.

Algunos elementos no pueden ser evaluados mediante el ICAS, debido a que los límites de detección de los análisis químicos superan los valores de referencia de las normativas consideradas.

A wide-angle landscape photograph showing a calm lake in the foreground that perfectly reflects the sky and the distant mountains. The mountains are rugged and have patches of snow on their peaks. The sky is a vibrant blue with scattered white and grey clouds. The foreground shows a rocky, grassy shoreline with some dark green trees on the left.

6. CONCLUSIONES

Una suma de factores y situaciones han ido colmando este “vaso” de agua en Chile. Diferentes indicadores de escasez, eventos extremos vividos en los últimos años y las primeras proyecciones del cambio climático arrojados en diversos estudios nacionales e internacionales, fueron las señales que se unieron a la necesidad manifestada de múltiples actores de encontrar medidas, acciones y soluciones que permitan avanzar hacia la seguridad y sustentabilidad hídrica. Ese es el contexto multifactorial y sectorial que permitió impulsar y concretar la iniciativa Escenarios Hídricos 2030. El conjunto de los participantes comparte el sentido de urgencia y la visión de que existen múltiples alternativas para convertir el problema del agua en una oportunidad para el desarrollo nacional.

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 Hídrica, así como el análisis desagregado de los diferentes indicadores de Riesgo Hídrico y su comportamiento en el tiempo, 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 identificado además los territorios donde falta información para abordarlos a futuro.

Brecha Hídrica

Las cuencas que presentaron, a nivel nacional, la mayor Brecha Hídrica, es decir, más del 40% de la Oferta hídrica referencial consumida fueron, en orden decreciente: río los Choros, río Ligua, río San José, río Petorca, río Limarí, río Copiapó, río Quilimarí, costeras entre Aconcagua y Maipo y río Elqui.

Las cuencas que presentaron una Brecha Hídrica media, es decir, entre 20 y 40% de la Oferta hídrica referencial utilizada son, en orden decreciente: río Choapa, río Aconcagua, río Lluta, Costeras entre río Choapa y río Quilimarí, río Salado y río Rapel.

Sólo 25 de un total de 101 cuencas hidrográficas existentes a nivel nacional fueron incluidas en el análisis de Brecha, dejando fuera un 75% de ellas por falta de información en la oferta de aguas subterráneas. Estas cuencas se encuentran 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. A pesar de lo anterior, si el análisis solamente considerara las aguas superficiales, cuya información esta disponible, la totalidad de las cuencas ubicadas al sur del río Rapel quedarían clasificadas con una Brecha Hídrica baja, por lo que no estarían presentando presiones importantes sobre el recurso hídrico.

En relación a la demanda de agua por parte de los diversos sectores productivos, se evidencia una diferencia importante entre los volúmenes de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) otorgados a lo largo de todo el territorio nacional y registrados en el Catastro Público de Aguas, los que superan más de seis veces la actual captación de aguas, donde se puede destacar las regiones sur-australes como aquellas con mayor diferencia.

El sector con mayor DAA consuntivos permanentes registrados a nivel nacional es el agrícola, seguido en orden decreciente por los sectores de agua potable y saneamiento y el minero.

A nivel nacional, un 88% del agua captada desde fuentes superficiales y subterráneas, regresa al sistema natural como devolución, pudiendo ser reutilizada "aguas abajo".

El consumo total de agua a nivel nacional alcanza 649 m³/s donde la HH verde (agua dulce consumida proveniente de agua lluvia) representa un 67% del consumo total.

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

El sector forestal encabeza el consumo total de agua a nivel nacional, la que proviene 100% de agua lluvia (HH verde). En relación al consumo de agua proveniente de fuentes superficiales y subterráneas (HH azul), el sector agrícola posee el mayor uso equivalente a 187 m³/s, representando el 88% del consumo de dichas fuentes de

agua a nivel nacional, seguida por el sector de agua potable y saneamiento con un 6,3% del consumo y el sector minero con 3,8% del consumo. El 60% del consumo de agua (HH azul) del sector agua potable y saneamiento se debe a las descargas de aguas residuales al mar, a través de los emisarios submarinos. La reutilización de estas aguas permitiría reducir de manera significativa (60%) la huella hídrica del sector. El consumo de agua del sector minero se presenta principalmente en las regiones de: Antofagasta con un 56% del consumo hídrico regional, 20% en la Región de Atacama y 19% en la Región de Tarapacá.

Se aprecia que los sectores agrícola, generación eléctrica (específicamente hidroelectricidad) y forestal presentan la mayor vulnerabilidad a la escasez hídrica, donde una reducción en la disponibilidad de agua superficial, subterránea y/o lluvia podría impedir satisfacer su requerimiento actual de agua, obligándolos a reducir su nivel de producción y demanda de agua, buscar fuentes alternativas del recurso o migrar hacia zonas con mayor oferta hídrica.

Riesgo Hídrico:

Al analizar a nivel nacional el déficit hídrico, el SPEI muestra una tendencia en casi todo el país hacia una sequía meteorológica durante los últimos 15 años (2000 a 2014). Las precipitaciones disminuyen en gran parte del territorio nacional, excepto en el altiplano, y aumenta la temperatura, provocando un alza en la sequedad del aire que afecta a la cobertura vegetal, con una tendencia al incremento de la evapotranspiración potencial

debido al mayor requerimiento de agua para poder subsistir. Esto indica un desbalance generalizado, donde las precipitaciones no alcanzan a cubrir las necesidades hídricas de la cobertura vegetal actual.

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. Particularmente entre Vallenar y Elqui se presenta la mayor intensidad de esta sequía meteorológica.

De Coquimbo hasta Aysén se registra una extensa sequía meteorológica, destacándose algunas cuencas en las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía y Los Ríos.

Si bien la sequía meteorológica más significativa se presenta entre las regiones de Atacama y Los Lagos, la cobertura vegetal, principalmente agrícola, actualmente se sostiene entre las cuencas de Copiapó y O'Higgins (análisis ET real). Ello demuestra que ésta utiliza otras fuentes de recursos hídricos distintas de la precipitación directa.

La zona austral también se ve afectada por esta sequía meteorológica aunque en menor proporción, destacando la cuenca del río Palena.

Al realizar un análisis específico a diferentes especies de la cobertura vegetal, para entender su comportamiento frente a la situación de la sequía meteorológica entre los años 2000 y 2014, se evaluó la evapotranspiración real en las cuencas por los ríos Imperial y Maule. Los resultados indican un desecamiento de la vegetación

nativa en ambas cuencas (estrés hídrico), tanto de matorral como de bosque nativo lo que puede estar afectando su crecimiento y desarrollo debido a que disponen de menos agua lluvia para su consumo. Por otra parte, el análisis muestra que en estas condiciones de sequía meteorológica, las plantaciones forestales -en general- mantienen o aumentan su consumo de agua, sobre todo en la cuenca del Maule sujeta a condiciones más limitantes de pluviometría. Con respecto a la agricultura, los cultivos muestran un comportamiento neutral en torno al consumo de agua, es decir, se mantiene su consumo de agua bajo esta condición.

En relación a las reservas de agua subterráneas, el análisis de tendencia de los niveles de pozos en acuíferos muestra que 147 de un total de 203 estaciones analizadas entre el año 1960 y 2016, poseen una tendencia negativa estadísticamente significativa (niveles de pozos de aguas subterráneas que van en descenso), que se concentran en la zona centro norte del país. Cabe destacar que un 81% de las estaciones de monitoreo de aguas subterráneas no pudieron ser incluidas en el análisis debido, principalmente, a la escasez de datos y la baja frecuencia de medición. Esto significa que el análisis de tendencia de pozos no pudo ser aplicado en todo el territorio nacional, particularmente en la Región de Antofagasta en la zona norte y desde la Región del Maule hacia el sur.

Por otra parte, se han registrado variaciones negativas en frentes y áreas para la mayoría de los glaciares estudiados en Chile. Respecto a la disminución de la superficie areal, todos presentan un retroceso, excepto el glaciar El Rincón, ubicado en la Región

Metropolitana. Entre los glaciares que destacan con mayor porcentaje de retroceso en su superficie areal son: los glaciares ubicados en Nevados de Chillán, Región del Biobío (actual Región de Ñuble), los glaciares del Volcán Sillajuay, ubicado en la Región de Tarapacá y los glaciares del volcán Lonquimay, en la Región de La Araucanía.

Respecto a los glaciares estudiados por balance de masa en el país, de un total de 13, sólo cuatro presentan un balance de masa positivo antes del año 2003: Glaciares Nef, San Rafael y Chico en la Región de Aysén y el glaciar Tyndall en la Región de Magallanes. Los 10 glaciares estudiados post año 2003, muestran un balance negativo.

El único indicador que se mantiene en el tiempo, en una gran parte de las estaciones de monitoreo, es el caudal medio anual de los cursos de agua superficiales, aunque no se estudió la relación directa de este comportamiento con el retroceso y pérdida de masa glaciar analizado, que constituye una fuente relevante del agua superficial. Un 60% de las estaciones a nivel nacional no muestran una tendencia de variación, mientras que un 11% de las estaciones ubicadas entre las regiones de Atacama y Maule presentan una tendencia a la baja.

Desde el punto de vista del Exceso hídrico, las inundaciones representan un 86% de los eventos nacionales recopilados entre 1912 a 2017. En el caso de los tsunamis, el siglo XXI ha superado el número de eventos del siglo XX y, en cuanto a los aluviones, si se mantiene la tendencia actual en el siglo XXI, se superaría el número de eventos registrados en el siglo XX. Las inundaciones a nivel nacional, muestran que este siglo

está aún lejos de alcanzar el número de eventos registrados en el siglo XX.

Al analizar los tipos de eventos por región y por siglos, es posible visualizar que las inundaciones eran más frecuentes en la zona central del país durante el siglo XX, pero comienzan a trasladarse hacia el sur en el siglo XXI (17 años), donde las regiones de Biobío y La Araucanía son las que presentan una mayor cantidad de eventos registrados. Algo similar sucede con los aluviones, donde Antofagasta es la región más afectada en el siglo XX y XXI, sin embargo, en el siglo XXI también aumenta el fenómeno hacia la zona centro y sur, principalmente en las regiones de Valparaíso y Los Ríos. Este fenómeno podría ser explicado por un aumento en la intensidad de las precipitaciones (gran volumen de lluvias en corto tiempo), efecto que podría verse influido por el cambio climático.

Los eventos por tsunamis muestran un aumento durante el siglo XXI respecto al siglo XX, situándose éstos en las regiones de Biobío y Aysén.

Al aplicar el Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS), se pudo identificar que la calidad de agua varía a lo largo del año, registrándose una mayor concentración de contaminantes cuando hay menor disponibilidad de agua, generando limitaciones para ser utilizada por otros sectores usuarios del agua, principalmente el agua potable donde su uso implica un acondicionamiento que conlleva un aumento en los costos de tratamiento. El ICAS muestra que la zona norte y algunas cuencas en la zona central, poseen aguas con calidad insuficiente o regular, dependiendo de la época del año. Las regiones del norte, principalmente Arica



Paola Matus Lizana / Lago Grey

y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta se caracterizan por poseer una tendencia generalizada a los bajos niveles de calidad de agua; independiente de la época del año, domina una calidad insuficiente, lo que está fuertemente relacionado al contenido de arsénico. Las regiones de la zona central evidencian una tendencia a presentar una buena calidad de agua, desde Atacama hasta O'Higgins. En general, en las regiones de la zona central, el período 2011-2016 presenta una mejora respecto al período 2006-2011. Las excepciones están en la Región de Valparaíso, en la época de verano, donde la calidad clasificada como insuficiente aumenta de uno a 10 estaciones, producto del contenido de arsénico, y en la Metropolitana, en la época de otoño, donde hay un aumento en las estaciones (de dos a cuatro), que registran una calidad insuficiente producto del contenido de arsénico (cinco

se encuentran en el río Mapocho y una en el río Maipo). La zona desde el Maule hasta Magallanes tiene una clara tendencia, presentando una dominancia de buena calidad en el período 2006-2011, pasando a una calidad excelente en el 2011-2016.

Es importante señalar la carencia de información respecto de los diferentes componentes estudiados en Riesgo Hídrico, que limita la determinación de tendencias y situación actual en algunas zonas del país. Estos vacíos de información se dan específicamente para los análisis de tendencia de caudales superficiales, niveles de pozo, calidad de agua y glaciares. En los casos de SPEI y exceso hídrico, no se identifican territorios específicos con vacíos de información.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Agnew, C. T. (2000). Using the SPI to Identify Drought. Drought Network News (1994-2001). Disponible en URL: <https://digitalcommons.unl.edu/droughtnetnews/1/>

Agudelo, R.M. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 23(1), 91-102. Disponible en URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v23n1/v23n1a09.pdf>

Aguilar, E., Peterson, T., Obando, P., Frutos, R., Retana, J., Solera, M., Soley, J., García, I., Araujo, R., Santos, A., Valle, V., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J., Sánchez, E., Oviedo, G., Obed, F., Salgado, J., Vázquez, J., Baca, M., Gutiérrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martínez, D., Olmedo, B., Espinoza, C., Núñez, R., Haylock, M., Benavides, H. y Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*, 110(D23).

Aldunce, P., Soza, S. y León, A. (2007). Desastres socio-naturales asociados al clima con efectos en la agricultura y medio rural en Chile. Disponible en URL: <http://uteeda.isch.edu.cu/PublicacionesUTEEDACYTED/chile/libro1/CII-Parte%201.swf>

Alexandratos, N. y Bruinsma, J. (2012). World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 revision. ESA working paper No. 12-03. Roma, Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación Alimentación (FAO).

Allen, R., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO de Riego y Drenaje N° 56.FAO, ISBN-92-5-304219-2, Roma.

Ayers, R. y Westcot, D. (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper 29, FAO, Roma. Disponible en URL: http://www.calwater.ca.gov/Admin_Record/C-110101.pdf

Báez, J., Fuchs, A. y Rodríguez-Castelán, C. (2017). ¿Desarrollo económico inestable?: choques agregados en América Latina y el Caribe. Washington, DC: Banco Mundial. Licencia: Creative Commons Attribution CC BY 3.0.

Banco Mundial. (2011). Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos en Chile. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe. Disponible en URL: <http://>

www.dga.cl/eventos/Diagnostico%20gestion%20de%20recursos%20hidricos%20en%20Chile_Banco%20Mundial.pdf

Boisier, J., Rondanelli, R., Garreaud, R. y Muñoz, F. (2016). Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters*, 43(1), 413-421.

Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME. (1999). Canadian water quality guidelines for the protection of agricultural water uses: Introduction. En: Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2. (2016). La mega sequía 2010-2015: una lección para el futuro. Disponible en URL: <http://www.cr2.cl/wpcontent/uploads/2016/07/reengarreaud-megasequia.pdf>

Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe- CAZALAC. (2017). Indicador de déficit hídrico en aguas subterráneas de Chile. Informe Técnico elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: www.escenarioshidricos.cl/multimedia

Christie, D. C., Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, F. y Vüille, C. M. (2016). Balance de masa glaciar. Revista de geografía Norte Grande, número 65, 239-241. Disponible en URL: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000300013>

Citi Research. (2017). Solutions for the global water crisis. Citi Global Perspectives & Solutions. 131 p. Disponible en URL: <https://willembuiter.com/CitiGPSWater.pdf>

Comisión Chilena del Cobre - COCHILCO. (2016). Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2016-2027. Santiago, Chile. Disponible en URL: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2%2023%20Proyeccion%20de%20consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202016-2027.pdf>

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2004). Guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. Disponible en URL: http://www.uaeh.cl/externos/epicforce/pdf/legislacionchile/agua/guia_CONAMA_establ_norm_secund_calidad_amb_agua.pdf

Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture- CAWMA. (2007). Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan,

and Colombo: International Water Management Institute. Disponible en URL: http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/synthesis/Summary_SynthesisBook.pdf

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas- UN DESA. 2011. World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. Nueva York, Naciones Unidas. Disponible en URL: http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011_Report.pdf

Dirección General de Aguas- DGA. (1987). Balance hídrico nacional. Santiago de Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/SUP1540.pdf>

Dirección General de Aguas- DGA. (1996). Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Loa, Rapel y Mataquito. Estudio elaborado por Figueredo. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/US0612v2.pdf>

Dirección General de aguas- DGA. (2001). Plan director para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Aconcagua. Santiago, Chile. Disponible en URL: http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/2698/DGA020_%20v4.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Dirección General de Aguas- DGA. (2003). Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la cuenca del río Elqui, IV Región. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/SUB3083.pdf>

Dirección General de Aguas - DGA. (2005a). Evaluación de los recursos subterráneos de las cuencas costeras de la V Región. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/SUB4375.pdf>

Dirección General de Aguas - DGA. (2005b). Determinación de tasas características de uso del agua según sector y rubro. Estudio elaborado por la Universidad de Chile. S.I.T. N°108. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/US04432.pdf>

Dirección General de Aguas- DGA. (2006). Evaluación de los recursos hídricos superficiales de la cuencas de los ríos Petorca y la Ligua. V Región. Santiago, Chile. Disponible URL: <http://documentos.dga.cl/SUP4496.pdf>

Dirección General de Aguas- DGA. (2007). Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras (Zona I y zona II). Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/US04854v1.pdf> y <http://documentos.dga.cl/US04855v1.pdf>

Dirección General de Aguas- DGA. (2008). Manual de glaciología. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/GLA5146v2.pdf>

Dirección General de Aguas- DGA. (2009). Estrategia nacional de glaciares. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/GLA5194v1.pdf>

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

Dirección General de Aguas- DGA. (2012a). Estudio hidrogeológico cuenca del río Mataquito. Estudio elaborado por Aquaterra. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/SUB5410v1.pdf>

Dirección General de Aguas- DGA. (2012b). Diagnóstico Plan Estratégico para la gestión de los recursos hídricos, región de Antofagasta. Estudio elaborado por Arrau Ingeniería E.I.R.L. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/25991>

Dirección General de Aguas- DGA. (2013a). Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/25996/HUM2-0115.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dirección General de Aguas- DGA. (2013b). Plan Maestro recursos hídricos región de Coquimbo. Estudio elaborado por CONCI-BF. Santiago. http://www.crdp.cl/biblioteca/hidrico/Bases_Tecnicas_Licitacion_Plan_Maestro_Recursos_Hidricos_IV_Region%20_Agosto_2011.pdf

Dirección General de Aguas- DGA. (2014). Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama. Estudio elaborado por ICASS LDT. Santiago, Chile. Disponible en URL: http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/Informe_Final-Empaste.pdf

Dirección General de Aguas- DGA. (2015). Actualización de la modelación hidrogeológica e integrada de los acuíferos de la cuenca del estero Casablanca. Santiago, Chile. Disponible en URL: http://documentos.dga.cl/SUB5548_Informe_Final_v1.pdf

Dirección General de Aguas- DGA. (2016). Atlas del agua en Chile. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://www.dga.cl/atlasdelagua/Paginas/default.aspx>

Donchyts, G., Baart, F., Winsemius, H., Gorelick, N., Kwadijk, J. y Van de Giesen, N. (2016). Earth's surface water change over the past 30 years. *Nature Climate Change*, 6(9), pp.810-813.

Eridanus. (2018). Recopilación histórica y representación espacial de eventos asociados a problemas de exceso hídrico: inundaciones, aluviones y tsunamis. Informe Técnico elaborado para

- Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: www.escenarioshidricos.cl/multimedia
- Espinoza, C. (2016, Abril, 24). Chile está entre los 10 países que más desastres y gastos asociados tuvieron en 2015. La Tercera. Recuperado de www.latercera.cl
- Fernández B., Donoso G., Lurashi M., Orphanopoulos D. y Salazar C. (1999). Estimación del impacto económico asociado a sequías hidrológicas. VI Jornadas del CONAPHI-Chile. Pontificia Universidad Católica, Santiago, Chile. Disponible en URL: https://www.researchgate.net/publication/239601937_ESTIMACION_DEL_IMPACTO_ECONOMICO_ASOCIADO_A_SEQUIAS_HIDROLOGICAS
- Foro Económico Mundial. (2017). Informe de riesgos mundiales 2017, 12a edición. Ginebra. Disponible en URL: http://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2017/jan/Global-RiskReport-2017_ES.pdf
- Fundación Chile- FCH. (2015). Reporte de huella hídrica en Chile, sectores prioritarios de la cuenca del río Rapel. Fundación Chile, COSUDE y Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A. y Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, p.150066.
- Galleguillos, M., Zambrano, M., Puelma, C. y Jopia, A. (2017). Evaluación espacio-temporal del déficit hídrico para las cuencas de Chile a partir de información satelital. Santiago, Chile. Iniciativa Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: <http://escenarioshidricos.cl/multimedia/>
- Gallopín, G. C. (2012). Five stylized scenarios. *Global water futures, 2050*. Unesco. París.
- Garreaud, R., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J. y Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in Central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, pp.1-37.
- German Technical Cooperation Agency- GTZ. (2004). Manual: El análisis de riesgo – una base para la gestión de riesgo de desastres naturales. División 42. Gobernabilidad y Democracia. Disponible en URL: http://dev.redhum.org/uploads/documentos/pdf/ID_7390_VV_Redhum-LAC-Manual-El_analisis_de_riesgo_una_base_para_la_gestion_de_riesgo_de_desastres_naturales-GTZ-2004.pdf
- Gilbert, R. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons. 336 p. Disponible en URL: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/tmdl/docs/303d_policydocs/205.pdf
- Girardi, C., González, F., Jara, S., Charre, R., Elorrieta, M., Sanchis, E. y Castillo, I. (2018). Metodología de construcción de índice de calidad para aguas superficiales. Informe Técnico elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: www.escenarioshidricos.cl/multimedia
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: Aspectos sectoriales y globales. Contribución del grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, y L. L. White (eds)]. Cambridge/Nueva York, UK/USA, Cambridge University Press, 1132 pp.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Earthscan, London, UK.
- Hoekstra, A. y Mekonnen, M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (9), pp. 3232-3237. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>
- Holt, W. (2014). From sustainable to resilient cities: global concerns and urban efforts. *Research in Urban Sociology Series 14*. Bingley, United Kingdom: Emerald.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA. (2017). Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica. Programa Euroclima. San José, Costa Rica. Disponible en URL: <http://euroclima.iica.int/sites/default/files/Documento%20Final.%20Gu%C3%ADa%20Metodol%C3%B3gica%20de%20la%20HH.pdf>
- Determinación de Tasas Características de Uso del Agua según Sector y Rubro; Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2011)
- Instituto Nacional de Estadística- INE. (2002). Censo nacional de población y vivienda año 2002. Santiago, Chile. Disponible en URL: www.ine.cl
- Instituto Nacional de Estadística- INE. (2007). Censo agropecuario forestal 2007. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://www.ine.cl/estadisticas/censos/censo-agropecuario-y-forestal-2007>

- Instituto Nacional de Estadística- INE. (2014). Clasificador Chileno de actividades económicas CIU4CL2012. Santiago, Chile. ISBN: 978-956-323-155-7. 440 p. Disponible en URL: <http://www.ine.cl/docs/default-source/publicaciones/2014/ciu4-2012.pdf?sfvrsn=4>
- Instituto Nacional de Hidráulica- INH. (2016). Análisis de requerimientos de largo plazo en infraestructura hídrica. Santiago, Chile.
- Jaramillo, C. y Acevedo, R. (2017). Contabilidad de huella hídrica utilizada en la estimación de la huella hídrica de cinco sectores económicos a nivel nacional. Informe elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. Disponible en URL: www.escenarioshidricos.cl/multimedia
- Jiménez, B. y Asano, T. (2008). Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs. IWA Publishing. London. Disponible en URL: <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=zYcTnBmZelcC&oi=fnd&pg=PA3&ots=Xy8S65inY9&sig=-4gLvveejGWF77k7Nv42fMNSS4Y#v=onepage&q&f=false>
- Kendall, M. (1975). Rank correlation methods (4th edition.) Charles Griffin. London.
- Kreft, S., Eckstein, D. y Melchior, I. (2017). Global climate risk index 2017. Who suffers most from extreme weather events?, weather-related loss events in 2015 and 1996 to 2015. GERMANWATCH, Alemania. Disponible en URL: <https://germanwatch.org/fr/download/16411.pdf>
- LA RED. (2009). DesInventar: Sistema de inventario de desastres. Guía Metodológica. Versión 8.1.9. Disponible en URL: <https://www.desinventar.org/es/metodologia>
- LA RED. (2014). Excel: Base de Datos de Desastres. Chile. Disponible en URL: <https://www.desinventar.org/es/database>
- León, L. (1998). Índice de calidad de agua, forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Mann, H. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, Vol. 13, 245-259. DOI: 10.2307/1907187
- Marcos, O. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas* 26, 59-80. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, España. Disponible en URL: <http://www.cervantesvirtual.com/downloadPdf/sequa--definiciones-tipologia-y-mtdos-de-cuantificacin-0/>
- Martínez, M. y Carvacho, L. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (50), 171-186.
- Martínez, P. (2016). La seguridad hídrica. En Fundación Chile. (Ed.), *Desafíos del agua para la región Latinoamericana*, pp. 48-59. Santiago, Chile. Disponible en URL: www.escenarioshidricos.cl/multimedia
- McPhee, J., De la Fuente, A., Herrera, P., Niño, Y., Olivares, M., Sancha, A., Vargas, X. (2012). El sector del agua en Chile. Su estado y sus retos. In B. Jiménez Cisneros & J. (GaliziaTundisi, *Diagnóstico del Agua en las Américas* (pp. 169-192)). Ciudad de México: Red Interamericana de Academias de Ciencias y Foro Consultivo y Tecnológico .
- Mehran, A., Mazdiyasi, O. y AghaKouchak, A. (2015). A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 7520-7533, doi: 10.1002/2015JD023147. Disponible en URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015JD023147/epdf>
- Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2012). The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), pp.179-187.
- Ministerio de Energía. (2015). Análisis de medidas de mitigación para los efectos de las variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta. Santiago, Chile. Disponible en URL: <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/565>
- Ministerio de Energía. (2016). Guía de buenas prácticas en el uso de agua para refrigeración de centrales termoeléctricas. División Desarrollo Sustentable. Disponible en: http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/ucm/publicaciones/Guia_Buenas_Practicas_Termoelectrica.pdf
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública de Chile. (2015). Política nacional para los recursos hídricos 2015. Disponible en URL: http://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos_hidricos.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente. (2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Santiago, Chile: Oficina de Cambio Climático. Disponible en URL: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente- MMA. (2016). Tercera comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático. Maval Spa, Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/TCN2016b1.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente-MMA. (2017). Estrategia nacional de biodiversidad 2017-2030, Santiago,

- Chile. Disponible en URL: http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Estrategia_Nac_Biodiv_2017_30.pdf
- Ministerio de Obras Públicas- MOP. (2012). Diagnóstico plan maestro de recursos hídricos, región de Tarapacá. Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/ADM5403v1.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas- MOP. (2013). Estrategia nacional de recursos hídricos 2012- 2025. Disponible en URL: http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf
- Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastre- UNISDR. (2015). Impacto de los desastres en América Latina y El Caribe. Disponible en URL: https://www.unisdr.org/files/48578_impactodesastresamericadelacariibe.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO. (2007). El estado mundial de la agricultura y alimentación. Disponible en URL: <http://www.fao.org/docrep/010/a1200s/a1200s00.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO. (2017). Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Disponible en URL: <https://www.slideshare.net/pillarroman35/reutilizacinde-aguas-en-amrica-latina-y-el-caribe-principiosestado-y-necesidades>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico- OCDE. (2012). Environmental outlook to 2050: The consequences of inaction. París. Publicaciones de la OCDE. Disponible en URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico- OCDE. (2016). Evaluaciones del desempeño Ambiental Chile 2016. Santiago, Chile. 275 p. Disponible en URL: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/40308>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico- OCDE. (2017). Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile. Santiago, Chile. Disponible en URL: https://www.oecd-ilibrary.org/governance/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile/la-gobernanza-de-la-infraestructura-de-agua-en-chile_9789264286948-7-es
- Organización Meteorológica Mundial- OMM. (1997). Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo. Nueva York. EEUU. 33 p.
- Organización Meteorológica Mundial- OMM. (2012). Glosario hidrológico internacional. OMM N°385. ISBN 978-92-63-03385-8. Ginebra, Suiza. 469 p. Disponible en URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862M.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial- OMM. (2014). Atlas of Mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970-2012). Ginebra, Suiza. Disponible en URL: <https://public.wmo.int/en/resources/library/atlas-mortality-and-economiclosses-weather-and-climate-extremes-1970-2012>
- Organización Meteorológica Mundial- OMM. (2016). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2015. OMM N° 1167. ISBN: 978-92-63-31167-2. Ginebra, Suiza. 25 p. Disponible en URL: <https://public.wmo.int/es/resources/library/declaracionC3%B3n-de-la-omm-sobre-el-estado-del-clima-mundial-en-2015>
- Panda, D., Mishra, A. y Kumar, A. (2012). Quantification of trends in groundwater levels of Gujarat in western India. Hydrological Sciences Journal, 57(7), pp.1325-1336.
- Richey, A., Thomas, B., Lo, M., Reager, J., Famiglietti, J., Voss, K. y Rodell, M. (2015). Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. Water resources research, 51(7), 5217-5238. DOI: 10.1002/2015WR017349.
- Rivera, I. y Aravena, D. (1994). Avances recientes del glaciar Pio XI en Patagonia. Revista de Arquitectura, 5(5), Pág. 12. doi:10.5354/0719-5427.2014.30588.
- Rivera, H., Domínguez, E., Marín, R. y Venegas, R. (2004). Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial. Elaborado por IDEAM para el proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente (SIMA), Lima, Perú. Disponible en URL: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>
- Sadoff, C., Hall, J., Grey, D., Aerts, J., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringler, C., Rosegrant, M., Whittington, D. y Wiberg, D. (2015). Securing water, sustaining growth: Report of the GWP/ OECD task force on water security and sustainable growth. UK, University of Oxford. Disponible en URL: <http://www.water.ox.ac.uk/wp-content/uploads/2015/04/SCHOOL-OF-GEOGRAPHY-SECURING-WATER-SUSTAINING-GROWTH-DOWNLOADABLE.pdf>
- Santibáñez, F., Santibáñez, P., Caroca, C., Gonzales, P., Huiza, F., Perry, P. y Otros. (2015). Evapotranspiración de referencia para la determinación de demandas de riego en Chile. Centro AGRIMED. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://agrimed.wixsite.com/riego/evapotranspiracion>
- Santibáñez, F. (2016). El cambio climático y los recursos hídricos en Chile. La transición hacia la gestión del

- agua en los nuevos escenarios climáticos de Chile. Ministerio de Agricultura. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias de Chile. Disponible en URL: <http://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/cambioClim12parte.pdf>
- Senado Francia. (2012). La qualité de l'eau et assainissement en France Rapport de l'OPECST n° 2152 (2002-2003) de M. Gérard Miquel, Mars 2013. Disponible en URL: <http://www.senat.fr/rap/l02-215-2/l02-215-211.html>
- Servicio Nacional de Geología y Minería- SERNAGEOMIN. (2017). Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile. Segunda actualización. Disponible en URL: <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Primer-Catastro-NacionalDesastres-Naturales.pdf>
- Sishodia, R., Shukla, S., Graham, W., Wani, S. y Garg, K. (2016). Bi-decadal groundwater level trends in a semi-arid south Indian region: Declines, causes and management. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, pp.43-58.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo- SUBDERE. (2011). Guía análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial. Disponible en URL: http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/libro_guia_de_analisis_de_riesgos_naturales_para_el_ordenamiento_territorial_.pdf
- Sud-Austral Consulting SpA. (2016). Actualización de cifras y mapas de desertificación; degradación de la tierra y sequía en Chile a nivel de comunas. Santiago, Chile. Disponible en URL: https://www.researchgate.net/profile/Patricio_Emanuelli/publication/311910528_ACTUALIZACION_DE_CIFRAS_Y_MAPAS_DE_DESERTIFICACION_DEGRADACION_DE_LA_TIERRA_Y_SEQUIA_EN_CHILE_A_NIVEL_DE_COMUNAS/links/5861a55508ae329d61ff3577/ACTUALIZACIONDE-CIFRAS-Y-MAPAS-DE-DESERTIFICACIONDEGRADACION-DE-LA-TIERRA-Y-SEQUIA-EN-CHILE-ANIVEL-DE-COMUNAS.pdf
- Sutton, A., Jones, D., Joern, B. y Huber, D. (2001). Animal manure as a plant nutrient resource. Volumen 101 ID .Purdue University. Cooperative Extension Service. USA.
- Torras, L. (2017). El Agua: el petróleo del Siglo XXI. Foro Económico Mundial. Disponible en URL: <https://www.weforum.org/es/agenda/2017/11/el-agua-el-petroleo-del-siglo-xxi-4f80d03c-21db-4a22-9d13-e51b54cda909/>.
- Tóth, J. (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero*, 111(4), 9-26.
- United States Geological Survey- USGS. (2009). Method for estimating water withdrawals for livestock in the United States, 2005. Disponible en URL: <https://permanent.access.gpo.gov/LPS113563/LPS113563/pubs.usgs.gov/sir/2009/5041/pdf/sir2009-5041.pdf>
- Urrutia, R. y Lanza, C. (1993). Catástrofes en Chile 1541-1992. Editorial La Noria. Disponible en URL: <http://repositoriodigitalonemi.cl/web/handle/2012/1051?show=full>
- Vargas, J. (2017). Oferta hídrica referencial. Informe elaborado por Universidad de Concepción para Escenarios Hídricos 2030. Concepción, Chile. Disponible en URL: www.escenarioshidricos.cl/multimedia
- Vicente-Serrano, S., Beguería, S. y López-Moreno, J. (2010a). A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
- Vicente-Serrano, S., Lasanta, T. y Gracia, C. (2010b). Aridification determines changes in leaf activity in pinus halepensis forests under semiarid mediterranean climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 614-628.
- World Resources Institute- WRI. (2015). Ranking the world's most water-stressed countries in 2040. Disponible en URL: <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world%E2%80%99s-most-water-stressed-countries-2040>
- World Resources Institute- WRI. (2018). Mapping, measuring and mitigation global water challenges. Disponible en URL: <http://www.wri.org>; <http://www.wri.org/our-work/topics/water>

GLOSARIO

ACUÍFERO: formación geológica permeable capaz de almacenar, transmitir y proporcionar cantidades aprovechables de agua. Fuente: OMM. (2012).

AFFECTADOS: número de personas que sufren efectos indirectos o secundarios asociados a un desastre. Corresponde al número de personas, diferentes a damnificados, que sufren el impacto de los efectos secundarios de los desastres por razones como deficiencias en la prestación de servicios públicos, en el comercio, en el trabajo, o por aislamiento.

ALUVIÓN: avenidas torrenciales con arrastre de grandes cantidades de material sólido (guijarros, gravas y bloques de rocas), aplicable a aquellas regiones secas o cauces secos en los que las lluvias ocasionales los producen.
Fuente: Eridanus, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

AMENAZA: evento físico y/o natural, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.
Fuente: ONEMI. (2016). Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/1710/POLITICA_NAC_2016_ESP.pdf

AVENIDA TORRENCIAL: flujo violento de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbita, rápida), o como torrente. Se aplica cuando en los reportes aparece como -avalancha-, cuando la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca. Excluye los aludes, porque éstos implican desprendimiento de hielo o nieve.
Fuente: Eridanus, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

BRECHA HÍDRICA: es la visualización de zonas con potencial falta de agua al evaluar la oferta referencial de agua y la demanda hídrica productiva.
Fuente: Documento de la Radiografía del Agua.

CATASTRO PÚBLICO DE AGUAS: la Dirección General de Aguas mantiene un registro denominado Catastro Público de Aguas (CPA) el que contiene datos, actos y antecedentes con relación al recurso, las obras de desarrollo del mismo, los derechos de aprovechamiento, los derechos reales constituidos sobre éstos y las obras construidas o que se construirán para ejercerlos.

CAMBIO CLIMÁTICO: importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define "cambio climático" como: "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La (CMCC) distingue entre "cambio climático" atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y "variabilidad climática" atribuida a causas naturales.
Fuente: Glosario IPCC. <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

CICLÓN TROPICAL: es un sistema giratorio, organizado por nubes y tormentas que se origina sobre aguas tropicales o subtropicales y tiene un centro de circulación cerrado en los niveles bajos de la atmósfera. Los ciclones tropicales rotan en contra de las manecillas del reloj en el hemisferio norte
Fuente: NOAA. USA. https://www.weather.gov/media/owlie/ciclones_tropicales11.pdf

COMPUESTOS ORGÁNICOS HALOGENADOS: son sustancias químicas orgánicas que contienen uno o varios átomos de un elemento halógeno (generalmente cloro, aunque existen compuestos formados con bromo e Yodo). Pueden ser sustancias simples y volátiles como es el caso del triclorometano (cloroformo), o moléculas orgánicas complejas como las dioxinas y los furanos, que pueden presentar gran variedad de propiedades físicas.
Fuente: <http://www.prtr-es.es/Compuestos-Organicos-Halogenados-AOX,15627,11,2007.html>

CUENCA HIDROGRÁFICA: es una porción de terreno delimitada geográficamente por la divisoria de aguas (zonas más altas de una montaña que rodean un terreno). En esta área geográfica las aguas superficiales y subterráneas drenan o vierten a una red hidrográfica (estero, arroyo, río) común que posteriormente puede desembocar en el mar o un lago. Fuente: DGA. (2014). Redefinición de la clasificación red hidrográfica nacional. http://documentos.dga.cl/Informe_Final_de_la_Redefinicion_de_las_Cuencas_DGA.pdf

CUENCA ENDORREICA: es un tipo de cuenca hidrográfica cuyas aguas drenan hacia un lago. Fuente: https://www.ecured.cu/Cuenca_endorreica

DAMNIFICADOS: número de personas que han sufrido grave daño directamente asociado al evento en sus bienes y/o servicios individuales o colectivos. Incluye personas reubicadas.

DAÑOS EN ACUEDUCTO: se relaciona con los daños en el sector de agua potable: tomas de agua, plantas de tratamiento, acueductos y canales de conducción de agua potable, tanques de almacenamiento, etc.

DAÑOS AGROPECUARIO: se relaciona con los daños en el sector agropecuario: campos de cultivos, granjas, zonas de pastoreo, etc.

DAÑOS EN ENERGÍA: se relaciona con los daños en el sector energético: presas, subestaciones, líneas de transmisión, plantas de generación, plantas de procesamiento de energéticos y depósitos combustibles, oleoductos, gasoductos, plantas nucleares.

DAÑOS EN TRANSPORTE: corresponde con efectos del desastre sobre el sector del transporte: redes viales (vehiculares, férreas), terminales de transporte, aeropuertos, puentes fluviales y marítimos, muelles, etc. afectados y/o destruidos.

DERECHO DE APROVECHAMIENTO DE AGUA: en Chile las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorgan a los particulares mediante derechos de aprovechamiento en conformidad a las disposiciones que establece el actual ordenamiento. Este derecho se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo permitiendo al titular usar y gozar de ellas en conformidad a la ley. A su vez, los titulares pueden disponer de este derecho.

Fuente: DGA, Atlas del Agua de Chile 2016.

DERECHO DE APROVECHAMIENTO CONSUNTIVO: es aquel que faculta a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad.

Fuente: Código de aguas, 1981

DERECHO DE APROVECHAMIENTO NO CONSUNTIVO: es aquel que permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho.

Fuente: Código de aguas, 1981.

DESAPARECIDOS: número de personas cuyo paradero a partir del desastre es desconocido. Incluye personas presumiblemente muertas sin evidencias físicas. Los datos de muertos y de desaparecidos son mutuamente excluyentes.

DESASTRE: los desastres naturales se componen de dos elementos: i) un evento causante (externo), y ii) las consecuencias que ésta genera en los grupos vulnerables o afectados. En este sentido, un tsunami en una zona no poblada no se considera un desastre, mientras que un tsunami en una ciudad costera de escasos recursos y sin preparación puede causar un desastre de gran magnitud. En otras palabras, una condición necesaria para la ocurrencia de desastres es la presencia de población humana, infraestructura, producción de bienes y servicios, entre otras actividades y/o presencia humana, en un lugar determinado.

Fuente: Eridanus, 2018, adaptado de GTZ, 2004. Para Escenarios Hídricos 2030.

ESCORRENTÍA: es la cantidad de agua de lluvia que excede la capacidad de infiltración del suelo. Si la lluvia caída supera esa capacidad, el exceso escurre hacia arroyos, quebradas, ríos, lagos y océanos.

Fuente: http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/1710/POLITICA_NAC_2016_ESP.pdf

ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA: lugar donde se realizan mediciones de caudales que escurren por un cauce.

ESTRÉS HÍDRICO: síntomas de la escasez o desabastecimiento de agua, por ejemplo, serias restricciones frecuentes y generalizadas en el uso, aumento de la competencia y de los conflictos entre usuarios, empeoramiento de la calidad y fiabilidad del servicio, pérdida de cosechas e inseguridad alimentaria.

Fuente: Fao, 2013. Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>

EVACUADOS: número de personas evacuadas temporalmente de sus viviendas, lugares de trabajo, colegios, hospitales, etc.

EVAPOTRANSPIRACIÓN: es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

Fuente: FAO 56. 2006. <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP): consumo de agua de la cobertura vegetal que depende únicamente del poder evaporante de la atmósfera, el cual es controlado por variables meteorológicas tales como la radiación, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Fuente: Evaluación espacio-temporal del déficit hídrico para las cuencas de Chile a partir de información satelital. Índice SPEI (Galleguillos *et al.*, 2017).

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR): representa la cantidad de agua que es efectivamente transpirada y evaporada desde la superficie hacia la atmósfera. La evapotranspiración real nos entrega información sobre la capacidad de la superficie de transformar el agua líquida en vapor, proceso también denominado como calor latente. En este sentido la ETR o calor latente de vaporización (LE) es una resultante del balance de energía de superficie, el cual depende de la radiación neta (Rn), el calor sensible (H), el calor de conducción del suelo (G).

Fuente: Evaluación espacio-temporal del déficit hídrico para las cuencas de Chile a partir de información satelital. Índice SPEI (Galleguillos *et al.*, 2017).

HUELLA HÍDRICA: es un indicador que se define como "el volumen de agua fresca apropiada o no devuelta al sistema, tomando en cuenta los volúmenes de agua consumida y contaminada" (Hoekstra *et al.*, 2011).

HUELLA HÍDRICA AZUL: se refiere al volumen de agua fresca extraída de fuentes superficiales y/o subterráneas por parte de los diferentes usuarios, 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 descarga al mar.

4) Agua que retorna a la cuenca en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

HUELLA HÍDRICA VERDE: se refiere al volumen de agua lluvia utilizada por los sectores que aprovechan esta fuente para riego, principalmente el agrícola y forestal. Esta agua queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo, la que se puede evaporar, evapotranspirar o incorporar en la vegetación.

HUELLA HÍDRICA GRIS: es un indicador virtual del grado de contaminación del agua fresca y corresponde al volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad de agua esté sobre los estándares aceptables.

Fuente: Hoekstra, 2011. http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf.

INUNDACIÓN (ES): anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localizan poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura. Inundaciones por olas marinas en zonas litorales se reportarán con el término "marejada".

Fuente: Eridanus, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

ISOTERMA CERO: la isoterma cero grados es una línea imaginaria que une puntos de temperatura igual a cero grados, separando la precipitación líquida de la sólida, es decir sobre esa línea cae nieve y bajo esa misma línea llueve.

Fuente: <http://www.onemi.cl/aluviones/>

LLUVIAS: precipitación pluvial. Incluye lluvias puntuales, persistentes o torrenciales en una región específica, así como períodos largos de precipitaciones.

Fuente: Eridanus, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

MAPA DE CALOR: es una forma de representación utilizada para mostrar en qué zona se concentra una cierta información.

MUERTOS: número de personas fallecidas por causas directas.

OFERTA HÍDRICA: 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.

OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL: se define como aquella porción de agua que, después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar. Fuente: Rivera *et al.*, 2004.

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (Pex): medida probabilística basada en datos de una serie histórica, que permite distinguir las características hidrológicas de una cuenca. Es decir, es el valor que indica el porcentaje en el que los datos históricos registrados son iguales o mayores al que corresponde dicho valor. Fuente: Glosario DOH. <http://www.doh.gov.cl/publicacionesyestudios/Documents/glosario.pdf>

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA: la probabilidad de ocurrencia de un evento dado, es igual a la relación entre el número de sucesos favorables y el número de sucesos totales.

RIESGO: probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre amenazas de origen natural o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Fuente: ONEMI, 2016. Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/1710/POLITICA_NAC_2016_ESP.pdf

RIESGO HÍDRICO: se entiende como la posibilidad de ocurrencia de un daño social, ambiental y/o económico en un territorio y período de tiempo determinado, derivado de la cantidad y la calidad de agua disponible para su uso. Fuente: Escenarios Hídricos 2030.

SEQUIA: fenómeno que se produce cuando la precipitación ha estado muy por debajo de los niveles normalmente registrados, causando serios desequilibrios hidrológicos que afectan de manera adversa a los sistemas terrestres de producción de recursos.

Fuente: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

SEQUIA METEOROLÓGICA: basada en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un período de tiempo determinado.

Fuente: Marcos, 2001.

[file:///H:/CGC/2016/Proyectos/Escenarios%20H%C3%ADdricos/Etapas/Etapa%202%20BHI/Documentos%20de%20apoyo/sequa--definiciones-tipologa-y-mtodos-de-cuantificacin-0%20\(3\).pdf](file:///H:/CGC/2016/Proyectos/Escenarios%20H%C3%ADdricos/Etapas/Etapa%202%20BHI/Documentos%20de%20apoyo/sequa--definiciones-tipologa-y-mtodos-de-cuantificacin-0%20(3).pdf)

TSUNAMI: aplicado a olas generadas por movimiento en el fondo del mar, generado por sismos, erupciones volcánicas o deslizamientos. Los términos marejada, maretazo, cordónazo o maretá, serán reportados como "marejada", y no corresponden a "Tsunami" en sentido estricto.

Fuente: Eridanus, 2018. Para Escenarios Hídricos 2030.

VIVIENDAS DESTRUIDAS: número de viviendas arrasadas, sepultadas, colapsadas o deterioradas de tal manera que no son habitables.

VIVIENDAS AFECTADAS: número de viviendas con daños menores, no estructurales o arquitectónicos, que pueden seguir siendo habitadas, aun cuando requieran de acciones de reparación o de limpieza.

VULNERABILIDAD: condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales y ambientales, que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto negativo de las amenazas. Fuente: ONEMI, 2016. Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/1710/POLITICA_NAC_2016_ESP.pdf

GLOSARIO SIGLAS Y ABBREVIATURAS

AMUCH: Asociación de Municipalidades de Chile	INH: Instituto Nacional de Hidráulica
APEMEC: Asociación de Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas	MMA: Ministerio del Medio Ambiente
APR: Sistemas de Agua Potable Rural	MOP: Ministerio de Obras Públicas
ASPROCER: Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile	OMM: Organización Meteorológica Mundial
BID: Banco Interamericano de Desarrollo	ONEMI: Oficina Nacional de Emergencia
CAZALAC: Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe	ONU: Organización de las Naciones Unidas
CCCH: Confederación de Canalistas de Chile	PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
CE: Comité Ejecutivo	PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
CNR: Comisión Nacional de Riego.	SAG: Servicio Agrícola y Ganadero
COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre	SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería
CONAF: Corporación Nacional Forestal	SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios
CORMA: Corporación Chilena de la Madera	SNA: Sociedad Nacional de Agricultura
COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación	SOFOPA: Sociedad de Fomento Fabril
CR2: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia	SONAMI: Sociedad Nacional de Minería
CT: Comité Técnico	TNC: The Nature Conservancy
DAA: Derecho de Aprovechamiento de Aguas	UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
DGA: Dirección General de Aguas	WFN: Water Footprint Network
DOH: Dirección de Obras Hidráulicas	WWF: World Wildlife Fund
FAO: Food and Agriculture Organization	
FCH: Fundación Chile	
FDF: Fundación para el Desarrollo Frutícola	
FENAPRU: Federación Nacional de Agua Potable Rural	
FESAN: Federación Nacional de Cooperativas de Servicios Sanitarios	
FFLA: Fundación Futuro Latinoamericano	
GCE: Grupo Construcción de Escenarios	
INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario	
INE: Instituto Nacional de Estadísticas de Chile	

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.

Con este aporte Escenarios Hídricos 2030 avanzará en un trabajo enfocado en seis cuencas hidrográficas como lo son: Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker. Se construirán escenarios futuros y medidas, acciones y soluciones que resuelvan los principales desafíos hídricos e impulsen el desarrollo sustentable de Chile.





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
- SERNAGEOMIN
- CONAF

