

EL AGUA COMO RECURSO VITAL

Bases científicas para la legislación del recurso hídrico en Chile

Iniciativa Científica Milenio

Biblioteca del Congreso Nacional-Asesoría Técnica Parlamentaria

Santiago, diciembre de 2017

Abstract

El agua es un recurso natural fundamental para la vida y los ecosistemas. El acceso al agua potable limpia es esencial para la realización de todos los derechos humanos, además de ser un recurso indispensable en prácticamente todos los sectores económicos (agricultura, minería, refinerías, energía, servicios, etc.). Ante un rápido crecimiento en la demanda y enfrentados con condiciones climáticas cambiantes, una adecuada gestión del recurso se ha convertido en un punto crítico en las agendas de varios países y organismos internacionales. Un marco legislativo adecuado, que considere las condiciones ambientales y sociales, junto con una gestión integrada y responsable del recurso es esencial para el crecimiento sustentable del país.

A pesar de la percepción del agua como un recurso abundante, Chile no tiene su plena disponibilidad garantizada dentro de los próximos años. Las características naturales de Chile hacen que la distribución del agua no sea homogénea, tanto en cantidad como en calidad, y que, por lo tanto, en las zonas del norte y centro del país se reporten déficits. Estudios a nivel nacional e internacional pronostican que en muchas regiones del mundo las sequías se agravarán, y Chile será uno de los países más perjudicados por el cambio climático dentro de las próximas décadas. La disminución en las precipitaciones y el derretimiento de los glaciares, sumado al crecimiento de la población, aumentos en las tasas de uso, la sobreexplotación de acuíferos y un uso poco eficiente del recurso pondrán gran parte de nuestro territorio bajo estrés hídrico, donde la disponibilidad no será capaz de suplir la creciente demanda.

Son numerosas las medidas que pueden tomarse para enfrentar esta realidad nacional en el mediano y largo plazo. Las de mayor impacto son aquellas que contemplan la educación y concientización de la población sobre el uso eficiente del agua, mejoran prácticas de irrigación en la agricultura y fomentan el desarrollo de nuevas tecnologías para la conservación del agua. A nivel nacional, las reformas deben estar orientadas a generar conocimiento científico y técnico sobre el recurso, que incluya una red de monitoreo activo, el análisis de esta información por mano de obra avanzada calificada, con un vínculo a los agentes tomadores de decisiones y una regulación efectiva acorde a la real disponibilidad y las necesidades del país.

Autores



Cinthia Johansson Reinhardt

Soy Licenciada en Ciencias Geológicas de la Universidad Nacional del Sur, Argentina. Desde el 2016 estoy cursando el Doctorado en Ciencias mención Geología en la Universidad de Chile y formo parte del **Núcleo Milenio Trazadores de Metales**. Actualmente estoy investigando en el área de la geología económica, con dos enfoques principales: 1. refinamiento de los modelos de formación de yacimientos mediante análisis geoquímico, isotópico y mineralógico, y 2. desarrollo y aplicabilidad de técnicas de exploración de menas metalíferas (como cobre, hierro, plata, entre otros).

Contacto: cinthiajohansson@gmail.com



Rodrigo Pérez Moreno

Estudié Geología en la Universidad de Chile, donde el año 2017 ingresé al programa de Magíster en Ciencias con mención en Geología. Adicionalmente, como estudiante pertenezco a las iniciativas científicas **Núcleo Milenio Trazadores de Metales** y al **Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes**, en las cuales se desenvuelve mi investigación. Mi especialización como Geólogo se enfoca en el estudio de la composición química de las aguas subterráneas, y cómo a través de esta podemos comprender los procesos que ocurren bajo la superficie terrestre – particularmente aplicado a sistemas geotermiales y la dinámica hidrológica de estos. Me motiva el desarrollo de las ciencias de la tierra para la sociedad y poder acercar el conocimiento científico a la formación de políticas públicas.

Contacto: rodrigo.frpm@gmail.com



Javier Rivera Vega

Pertenezco al **Núcleo Milenio Trazadores de Metales** y en estos momentos me encuentro terminando el plan de Magíster en Ciencias, Mención Geología de la Universidad de Chile, tras haber estudiado la carrera de Geología. Siempre he tenido un gran interés por la ciencia, y en estos años de estudio he podido profundizar mis conocimientos y aprender diversas metodologías para su aplicación, teniendo en cuenta la importancia que tiene la transmisión y generación de conocimiento de las ciencias a la sociedad. Mi área de especialidad es la geoquímica, la cual se encarga del comportamiento de los elementos químicos en la Tierra. Actualmente estoy estudiando la dispersión de metales como cromo, oro, paladio y platino en ambientes superficiales del sur del país.

Contacto: jarivera@ing.uchile.cl

Contenidos

I. ECOSISTEMAS	1
a. Agua superficial – Cuencas hidrográficas	1
<i>¿Por qué son relevantes las cuencas hidrográficas?</i>	1
<i>¿Cuál es la situación de Chile al respecto?</i>	1
<i>Conceptos científicos que no pueden faltar</i>	1
b. Agua subterránea – Acuíferos	2
<i>¿Por qué son relevantes las aguas subterráneas?</i>	2
<i>¿Cuál es la situación de Chile al respecto?</i>	3
<i>Conceptos científicos que no pueden faltar</i>	4
c. Disponibilidad actual y futura	5
<i>¿Por qué es relevante la disponibilidad del recurso?</i>	5
<i>¿Cuál es la situación de Chile al respecto?</i>	6
<i>Conceptos científicos que no pueden faltar</i>	9
<i>Soluciones propuestas</i>	10
d. Tasas de uso	11
<i>¿Por qué es relevante conocer y regular las tasas de uso?</i>	11
<i>¿Cuál es la situación de Chile al respecto?</i>	12
<i>Conceptos científicos que no pueden faltar</i>	15
<i>Soluciones propuestas</i>	16
II. IMPACTO	16
a. Agua y cambio climático	16
III. STAKEHOLDERS ENTREVISTADOS	18
ÍNDICE DE TERMINOS CIENTÍFICOS	19

I. ECOSISTEMAS

a. Agua superficial – Cuencas hidrográficas

¿Por qué son relevantes las cuencas hidrográficas?

La principal fuente de recarga de agua para el uso humano, y los ecosistemas en general, son las precipitaciones a través de las cuencas de drenaje. Un mapeo de las cuencas permite entender los flujos de agua superficiales y calcular los volúmenes de entrada y salida en una zona delimitada. Este cálculo del balance hídrico es esencial para una adecuada gestión del recurso, incluyendo el otorgamiento de derechos, fijación de límites de uso, ordenamiento territorial, etc., garantizando así un suministro eficiente y equitativo. Asimismo, la distribución espacial de las cuencas posee implicancias ecológicas. A medida que las aguas escurren e ingresan a los ríos, estas transportan sedimento, nutrientes y posibles contaminantes, modificando su composición química. Un adecuado mapeo de cuencas constituye una base para enfrentar problemas de contaminación asociados al agua de manera eficaz.

Un monitoreo adecuado de los flujos de entrada y salida de agua, junto con una gestión integrada de las cuencas hidrográficas en el territorio nacional es necesario para la conservación de este vital recurso.

¿Cuál es la situación de Chile al respecto?

La Dirección General de Aguas (DGA) cuenta con un mapeo a nivel nacional que divide el territorio Chileno en 101 cuencas, 467 subcuencas y 1.469 subsubcuencas de drenaje.¹ Esta información se encuentra públicamente disponible en la mapoteca digital de la DGA.²

Conceptos científicos que no pueden faltar

El artículo 2° del Código de Aguas define las **aguas superficiales** como aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre, y pueden ser corrientes o detenidas.

¹ Ministerio de Obras Públicas y Dirección General de Aguas. (2016) *Atlas del Agua Chile 2016*, capítulo 1. Recuperado de <https://goo.gl/KiK5T6>

² Mapoteca digital de la Dirección General de Aguas. Disponible en <https://goo.gl/cmm7a1>

Una **cuenca de drenaje** o **cuenca hidrográfica** es la superficie terrestre dentro de la cual las aguas precipitadas son drenadas por un río o una red de cauces.¹ Los límites de una cuenca se conocen como la **línea divisoria de aguas** y corresponden a los altos topográficos. Las cuencas cuyas aguas drenadas desembocan en el mar se denominan **cuencas exorreicas**.¹ De lo contrario, si confluyen a un valle cerrado se denominan **cuencas endorreicas**.¹

La capacidad de una cuenca de captar agua incide directamente no sólo en el consumo humano si no en los **ecosistemas**. Un **ecosistema** es el complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su entorno inerte actuando como una unidad funcional.³

b. Agua subterránea – Acuíferos

¿Por qué son relevantes las aguas subterráneas?

El agua subterránea constituye aproximadamente un tercio (30.1%) del agua dulce en el planeta.⁴ Dado que el 68.7% del agua dulce está atrapada en glaciares y casquetes de hielo, y solo el 1.2% restante es agua superficial, el agua subterránea es un recurso importante del cual se abastece gran parte de la población mundial. Esta es de particular importancia en **zonas áridas** que no cuentan con amplios recursos superficiales, como el norte de Chile, o durante periodos de sequía, donde el recurso superficial disminuye.

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en lo que son denominados **acuíferos**, bajo la superficie de la Tierra. El volumen de agua contenida en ellos suele ser mucho mayor que la presente en fuentes superficiales como lagos, por ejemplo.

Si bien los acuíferos resultan indispensables para el abastecimiento de agua, son de difícil gestión, ya que son susceptibles a la sobreexplotación y a la contaminación. Dado su carácter subterráneo y el comportamiento complejo del agua bajo superficie,

³ Convención de Lucha contra la Desertificación de las Naciones Unidas. (2013) *Glosario de términos referentes a los indicadores de desempeño y de impacto, los flujos financieros y las prácticas óptimas*. Recuperado de <https://goo.gl/ZxfxHj>

⁴ U.S. Geological Survey. (2017) *The Water Cycle*, Water Science School World Wide Web site. Recuperado de <https://goo.gl/dwxRoC>

son difíciles de estudiar y monitorear, por lo que requieren una amplia etapa de exploración e investigación previa a poder acceder al recurso. A su vez, requiere mayor esfuerzo e inversión acceder a ellos. La sobreexplotación de acuíferos puede tener graves consecuencias sociales, económicas y ambientales.

Para las decisiones en torno al recurso subterráneo, es insuficiente establecer reglas generales apoyadas en algunas observaciones indirectas.⁵ Para evitar serios problemas económicos y ambientales producto de la sobreexplotación de acuíferos, es **fundamental** realizar un estudio íntegro y detallado del recurso subterráneo por mano de obra capacitada (geólogos, hidrogeólogos, ingenieros hidráulicos, etc.), asegurando así una gestión responsable del recurso. Los estudios deben incluir observaciones de control (monitoreo), contexto geológico del acuífero y modelos numéricos de su comportamiento frente a la extracción. Todo esto en el marco de un conjunto de políticas claras que tomen en cuenta las condiciones sociales y ambientales.⁵

¿Cuál es la situación de Chile al respecto?

El agua subterránea es una fuente indispensable de abastecimiento de agua, tanto para consumo humano como para sectores económicos como la agricultura, minería e industria, entre otros.

En el norte del país el agua superficial es limitada, con lo cual el agua subterránea se utiliza principalmente para consumo humano y minería. En la zona centro en cambio, es para consumo humano y agricultura, principalmente.

Actualmente, la sobreexplotación de los acuíferos es uno de los principales problemas de Chile, potenciado por la ausencia de redes de monitoreo y la falta de conocimiento científico al respecto.

Debe destacarse que **cantidad** de agua no es igual a **calidad**. El agua subterránea varía mucho en calidad, es decir, pH, cantidad de sólidos disueltos, contenido de arsénico, etc., y eso conlleva a que en muchos casos deba ser tratada antes de poder ser usada.

⁵ Custodio, E. (2002) *Aquifer overexploitation: What does it mean?* Hydrogeology Journal 10: 254, doi: [10.1007/s10040-002-0188-6](https://doi.org/10.1007/s10040-002-0188-6).

Conceptos científicos que no pueden faltar

El artículo 2° del Código de Aguas define las **aguas subterráneas** como aquellas que están ocultas en el seno de la tierra y no han sido alumbradas.

Un **acuífero** es un estrato de roca permeable, roca fracturada o material no consolidado (grava, arena, etc.) bajo tierra que permite la circulación y el almacenamiento de agua subterránea. Los acuíferos pueden ocurrir a diversas profundidades, y el agua puede ser extraída de estos mediante pozos. El nivel superior de un acuífero, bajo el cual la tierra se encuentra saturada en agua, se denomina el **nivel freático**.

Conceptos relacionados son: **acuítardo**, un estrato de roca semi-permeable que contiene cantidades apreciables de agua que son transmitidas muy lentamente, por lo que no es apto para la captación de aguas subterráneas; y **acuicluido**, un estrato de roca poco permeable, que no transmite el agua que contiene por lo cual tampoco es apto para la explotación del recurso.

Es importante destacar que los acuíferos son sistemas dinámicos, es decir, el agua está constantemente ingresando y saliendo de ellos. Toda forma de ingreso de agua es denominada **recarga** (el principal factor de recarga proviene de las precipitaciones y su **infiltración** en la tierra), en tanto que las salidas de agua se denominan **descarga** (salida del agua al mar, lagos, fuentes, etc). El **balance hídrico** es la relación entre recarga y descarga, y es fundamental para entender la cantidad de agua disponible para la extracción. La **sobreexplotación** de los acuíferos se produce cuando la tasa de extracción de agua es mayor a la tasa de recarga durante un periodo prolongado, y esta puede tener efectos graves sobre el medio ambiente y la disponibilidad del recurso.

Algunos de los impactos negativos de la sobreexplotación de acuíferos incluyen descenso del nivel freático, reducción en la calidad del agua, aumento de los costos de extracción y daños a los ecosistemas.⁵ En acuíferos costeros, la sobreexplotación puede conllevar un aumento en la **intrusión salina**, donde el agua salada del mar se introduce en el acuífero, pudiendo dejarlo inutilizable para el consumo humano.

Un estudio íntegro y detallado del recurso subterráneo por mano de obra capacitada (geólogos, hidrogeólogos, ingenieros hidráulicos, etc.) es **fundamental** para la toma de decisiones, el otorgamiento de derechos y una gestión responsable del recurso.

c. Disponibilidad actual y futura

¿Por qué es relevante la disponibilidad del recurso?

La cantidad de agua en el planeta es, para todos los efectos prácticos, constante. De esta agua, sólo un 2.5% es agua dulce, y aproximadamente el 70% de esta se encuentra atrapada en casquetes de hielos y glaciares.⁴ (Fig. 1) Es más, fuentes de agua dulce superficiales como ríos y lagos, que constituyen la fuente principal para el uso humano, representan sólo un 0.007% del agua total del planeta.⁶ No obstante, históricamente se ha realizado una explotación inadecuada de lo que ha sido considerado como un recurso ilimitado.⁷ Dentro del último siglo, el crecimiento explosivo de la población, un uso más intensivo del recurso y los efectos adversos del cambio climático, han puesto una tensión gigantesca en la capacidad cuantitativa y cualitativa de suplir esta demanda a nivel mundial.^{8,9} Hoy en día, se estima que 1 de cada 5 personas (>2 mil millones) no posee acceso a agua de calidad suficiente¹⁰, y que al menos 3 a 4 millones de personas mueren por enfermedades transmitidas por el agua al año.⁹ Estas mismas estadísticas de la World Health Organization estiman que para el año 2025, la mitad de la población del mundo vivirá en zonas de déficit hídrico. Ante este panorama, expertos indican que la legislación debe apuntar a uso responsable y eficiente de un recurso escaso¹¹, junto con educar sobre la importancia del recurso y hábitos de consumo adecuados. En otras palabras, debemos aprender a hacer más con menos.

⁶ Shiklomanov, I. (1993) *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* – Capítulo 2 «World fresh water resources.» Oxford University Press, New York. Recuperado de <https://goo.gl/LaePGk>

⁷ Martínez y Ruano. (1998) *Aguas subterráneas: Captación y aprovechamiento*. Promotora General de Estudios, S.A.

⁸ Godwin, R.B., Foxworthy, B.L., Vladimirov, V.A. (1990) *Guidelines for Water Resource Assessments of River Basins*. UNESCO IHP-III Project 9.2. Recuperado de <https://goo.gl/wVe81y>

⁹ World Water Council. (2000) *World Water Vision Report* – Capítulo 2 «The use of Water Today.» Recuperado de <https://goo.gl/eovPKs>

¹⁰ World Health Organization & UNICEF. (2017) *Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2017, Update and SDG Baselines*. Disponible en <https://goo.gl/9LqBU9>

¹¹ Rosengrant, M.W., Cai, X. Cline, S.A. (2002) *Global water outlook to 2025: Averting an Impending Crisis*. Food Policy Report, International Food Policy Research institute & International Water Management Institute. Recuperado de <https://goo.gl/GNwQAr>

¿Dónde se encuentra el agua en nuestro planeta?

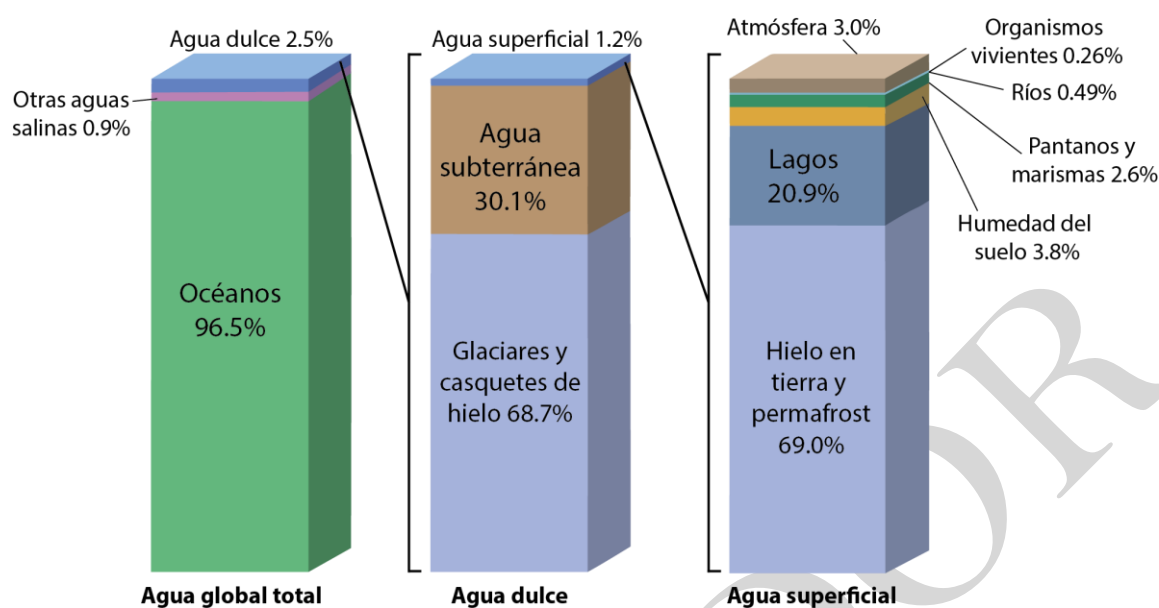


Figura 1: Distribución del agua en el planeta. Traducido de «The water cycle – Where is the Earth's Water?» del Servicio Geológico de Estados Unidos. Disponible en <https://goo.gl/dwxRoC>

¿Cuál es la situación de Chile al respecto?

En lo que respecta al recurso hídrico, Chile es considerado un país de contrastes. En la zona norte de Chile, la escorrentía per cápita promedio está por debajo los 500 m³/persona/año, mientras que en las regiones del sur supera los 7.000 m³/persona/año, llegando hasta 2.950.168m³/persona/año en la región de Aysén.¹ Según análisis del Banco Mundial (2010), 2.000 m³/persona/año es considerado internacionalmente como la línea base mínima para el desarrollo sostenible de un país. En promedio, la escorrentía media nacional per cápita es de 51.218 m³/persona/año, mientras que la media mundial es de 6.600 m³/persona/año.¹ Esto se resume en que, a pesar de que en promedio somos un país privilegiado respecto al agua, tenemos gran parte de nuestro territorio bajo escasez hídrica. (Fig. 2)

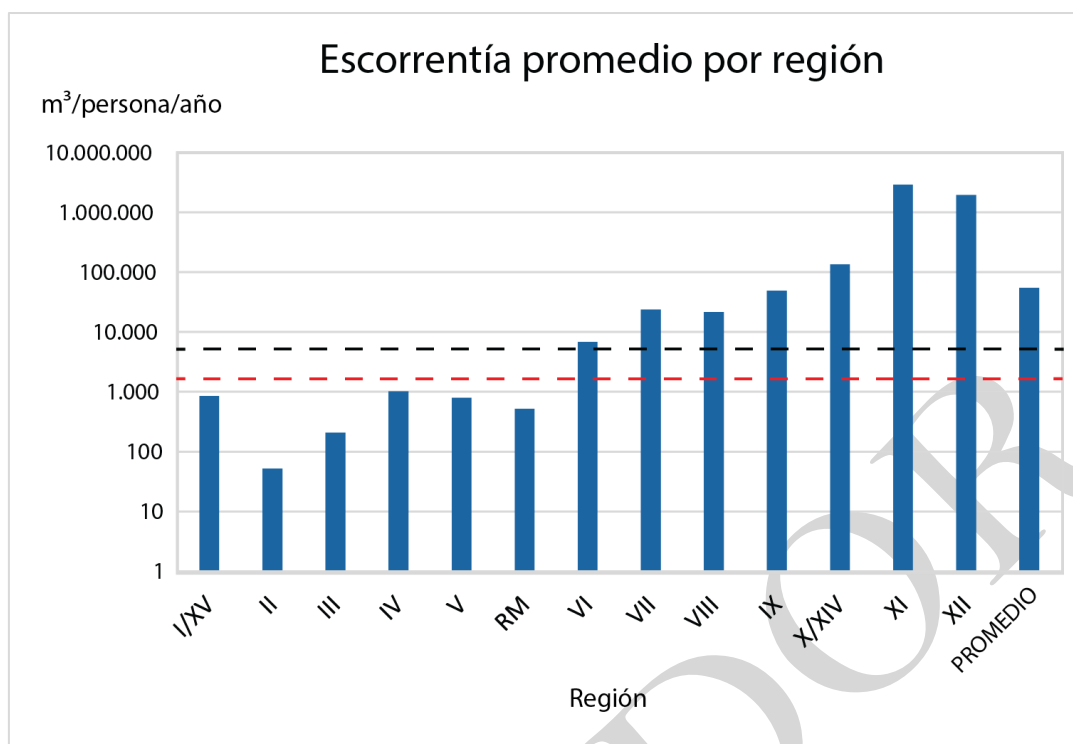


Figura 2: Escorrentía superficial promedio por región. Modificado de Estrategia de recursos hídricos 2012-2025, MOP. Datos de DGA, 1987; INE 1992, 2003 y 2010. **Línea roja** representa el mínimo para desarrollo sostenible de un país, según estudios del Banco Mundial. **Línea negra:** promedio mundial.

El problema de la escasez hídrica se ve empeorado por la **intensa sequía** que ha experimentado Chile en los últimos años. Desde el año 2010 al 2015, Chile ha enfrentado una ininterrumpida secuencia de años secos, con déficits de precipitación anuales que van de un 25 a 45% en la Zona Central.¹² (Fig. 3) Si bien sequías de 1 a 2 años son comunes en zonas de carácter mediterráneo, este evento de sequía destaca por su longevidad y amplia extensión espacial.¹² Al año 2017, 56 comunas se encuentran con decretos de escasez hídrica vigentes. (Decretos declaración zona de escasez Vigentes, DGA) De las 101 cuencas hidrográficas que define la DGA en Chile, desde el año 2008, 75 han sido decretadas en escasez, principalmente concentradas en la IV y V región.¹³

¹² Boisier, J. P., R. Rondanelli, R. D. Garreaud, and F. Muñoz (2016) *Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile*. Geophys. Res. Lett., 43, 413–421, doi: [10.1002/2015GL067265](https://doi.org/10.1002/2015GL067265)

¹³ Ministerio de Obras Públicas y Dirección General de Aguas. (2016) *Atlas del Agua Chile 2016*, capítulo 4. Recuperado de <https://goo.gl/KiK5T6>.

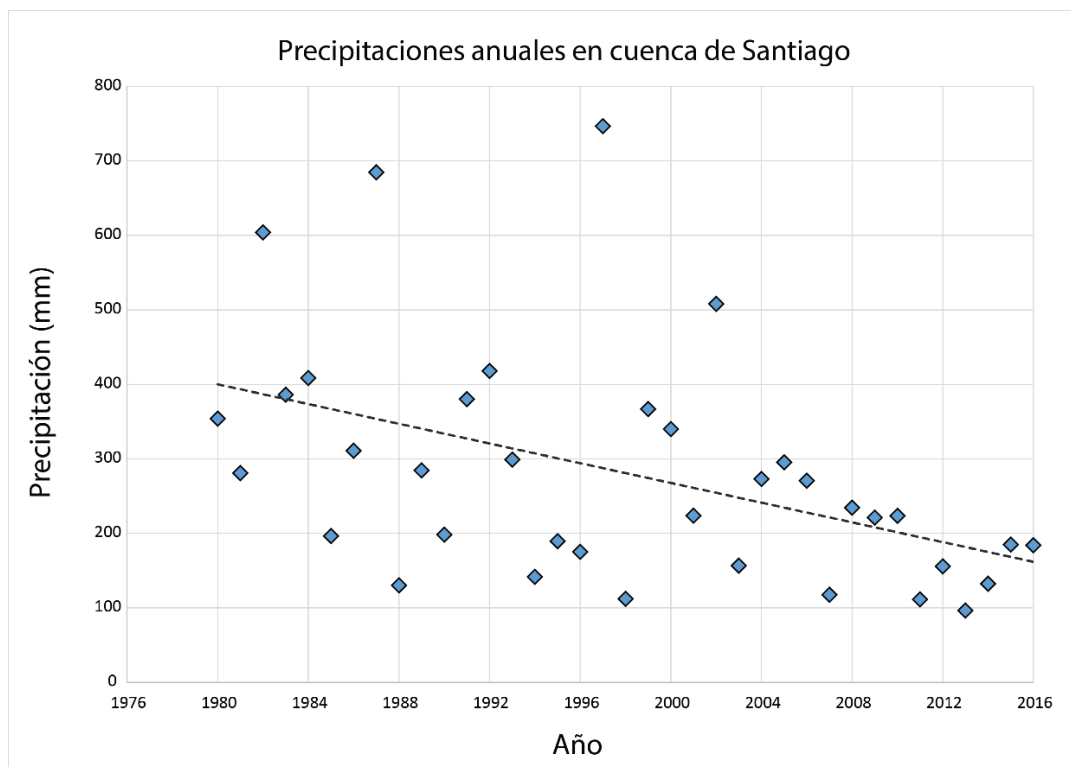


Figura 3: Precipitaciones anuales en la cuenca de Santiago. Elaboración propia en base a datos de la DGA (reportes meteorológicos – Terraza Oficinas Centrales DGA). **Línea negra** representa una regresión lineal.

A esto se debe sumar el hecho de que Chile es uno de los países más susceptibles a ser afectados por el cambio climático. Según investigaciones llevadas a cabo por el World Resources Institute, de más de 160 países evaluados, Chile se encuentra número 24 entre los países con mayor vulnerabilidad a la crisis hídrica proyectada para el 2040, bajo un escenario «business-as-usual» (es decir, si no se toman medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero a nivel mundial).¹⁴ (Fig. 4) Según el mismo estudio, el año 2010 Chile se encontraba en el puesto número 52.¹⁴ Esto significa que Chile está entre los 10 países más afectados por el cambio climático, junto a Estonia, Namibia y Botswana. En el caso de Chile, llegando el año 2040 a una escasez hídrica comparable con países como Siria y Pakistán.¹⁴ Esta susceptibilidad se debe a los efectos del alza de temperatura en regiones críticas, cambios en los patrones de precipitación y la degradación de la tierra.

¹⁴ Luo, T., Young, R., Reig, P. (2015) *Aqueduct projected water stress and country rankings*. World Resources Institute, technical note. Recuperado de <https://goo.gl/Nc9bBH>

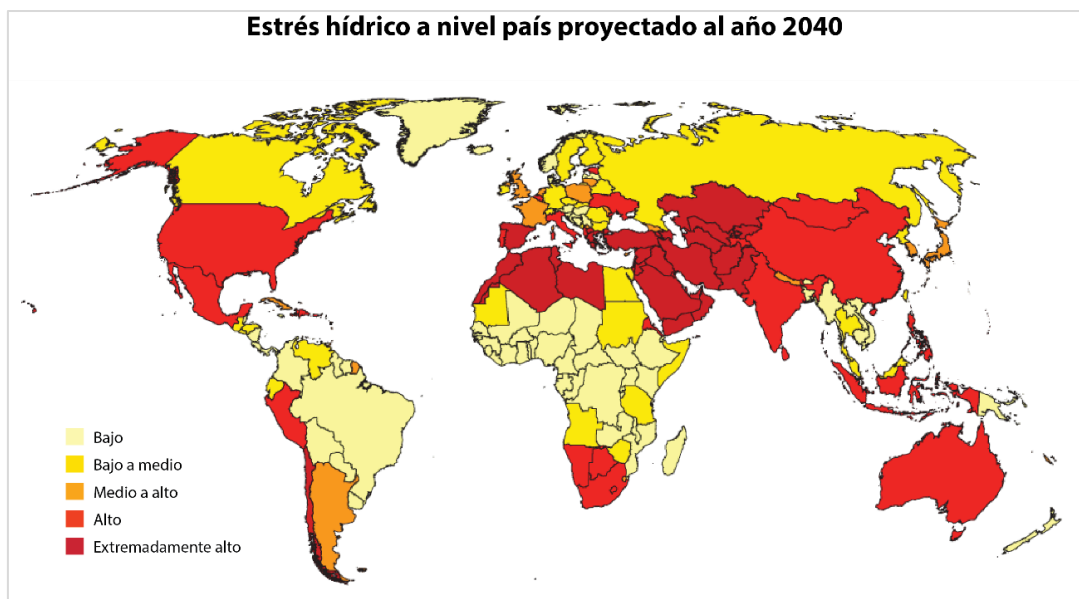


Figura 4: Estrés hídrico a nivel país proyectado al año 2040. Fuente: Luo, T., Young, R., Reig, P. (2015) *Aqueduct projected water stress and country rankings*. World Resources Institute, technical note.

Se estima que más de un 60% de la superficie nacional se encuentra afectada en algún grado por el fenómeno de desertificación, con una población de 8,3 millones de personas viviendo en áreas afectadas y 1,7 millones de personas afectadas directamente por la desertificación, degradación de la tierra y sequía.¹⁵

Conceptos científicos que no pueden faltar

La **sequía** se define, según la Convención de Lucha contra la Desertificación de las Naciones Unidas³, como el fenómeno natural que aparece cuando las precipitaciones se encuentran significativamente por debajo de los niveles normales registrados, causando graves desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas terrestres. Su definición puede basarse en un criterio **meteorológico**, **agrícola** o **hidrológico**.³

- **Sequía meteorológica:** definida únicamente en base al grado de sequedad, basado en las precipitaciones, en comparación a una cantidad promedio, y la duración del periodo «seco» específico para cada región.
- **Sequía agrícola:** se refiere a factores tales como las diferencias entre las deficiencias reales y potenciales de evaporación-transpiración y suelo-agua, y

¹⁵ Alfaro, W. 2013. Estado de desertificación en Chile. Documento Técnico N°213. Revista Chile Forestal N°365. CONAF. Recuperado de <https://goo.gl/eof41b>

es específica de cada cultivo. Depende de la duración de los periodos de lluvia y secos relativos a los ciclos de cultivo.

- **Sequía hidrológica:** se define por las deficiencias en los suministros de agua a nivel de superficie y subterráneo, que derivan en una falta de disponibilidad de agua para cubrir las necesidades de agua normales y específicas.

La **desertificación** es la degradación de las tierras en las zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas como resultado de diversos factores, entre ellos, las variaciones climáticas y actividades humanas.³

El fenómeno conocido como **calentamiento global** se refiere al aumento registrado en la temperatura del planeta, tanto en la atmósfera como en los océanos, por efecto de los gases de invernadero producto principalmente de la actividad industrial. Desde el año 1880, la temperatura promedio global ha aumentado un total de 0.95 grados Celsius, a un ritmo de 0.07°C por década (National Oceanic and Atmospheric Administration). Los efectos del cambio climático ya son visibles en muchas partes del mundo, incluyendo Chile, donde estudios indican que un factor antrópico podría estar contribuyendo a la actual sequía por el cual se está atravesando.¹² En caso de no tomar medidas al respecto, el aumento proyectado en las emisiones de gases de invernadero dentro de los próximos 100 años podría aumentar la temperatura global en 5°C con respecto al periodo pre-industrial.¹⁶ Tales tasas de aumento no tienen precedente en la historia y podrían tener un efecto catastrófico sobre el ciclo hidrológico, la disponibilidad del recurso hídrico, los ecosistemas y la capacidad de desarrollo humano.¹⁶

Soluciones propuestas

Frente a la crisis de escasez hídrica a nivel mundial, las principales soluciones destacadas por más de 1200 expertos en el rubro (sectores corporativo, gubernamental, ONGs, academia, y servicio), encuestados en 80 países, son las siguientes¹⁷:

¹⁶ World Bank. (2010) *World Development Report 2010: Development and Climate Change*. Washington, DC. © Licencia: CC BY 3.0 IGO. Recuperado de <https://goo.gl/LTW8TS>

¹⁷ Circle of Blue. (24 de mayo de 2010) *Solutions to the Global Freshwater Crisis*. Estudio de GlobeScan y Sustainability. Recuperado de <https://goo.gl/HNLZqp>

- Educar a la gente para mejorar los **hábitos de consumo** del agua en todos los sectores de la sociedad, desde el uso personal hasta las grandes empresas.
- Desarrollar **nuevas tecnologías** para la conservación del agua.
- Reciclar **aguas residuales** (efluentes que resultan del uso del agua en las viviendas, el comercio y la industria).
- Mejorar las prácticas de irrigación en la agricultura, la cual constituye un 70% del consumo de agua a nivel mundial.
- Desarrollo de plantas de desalinización **energéticamente eficientes**.
- Organización y trabajo con **comunidades locales**.

La lista completa del estudio se encuentra disponible a través de la iniciativa científica internacional *Circle of Blue*.¹⁷

- A **nivel nacional**, se deben establecer equipos de trabajo multidisciplinarios en las organizaciones públicas pertinentes, destinados a realizar estudios profundos del estado actual del recurso en Chile, y un monitoreo activo a lo largo del país tanto del agua en superficie como subterránea. Además, con estos equipos de trabajo, se debe desarrollar investigación que sustente las decisiones administrativas del recurso y así avanzar en una administración sustentable que garantice el suministro a futuro.
- Generar conocimiento científico y técnico acorde a los condiciones actuales de los acuíferos del país, mediante el levantamiento de información en tiempo real, una vez establecidas las redes de monitoreo antes mencionadas.
- Establecer redes de trabajo para cada cuenca hidrográfica o acuífero, que involucren a todos los agentes pertinentes, de manera de unir los intereses privados, políticos y sociales asociados al manejo del recurso en la zona.

d. Tasas de uso

¿Por qué es relevante conocer y regular las tasas de uso?

Se estima que se necesitan al menos 20 litros al día, como mínimo, para satisfacer nuestros requerimientos básicos tales como alimentarse, beber agua e higiene básica. Si consideramos otras labores domésticas y una higiene completa, se requieren entre 20 - 70 litros. Y aún más agua es necesaria si es que consideramos

otras actividades como recreación, mantenimiento de jardines, negocios, etc. (Datos de World Health Organization). El desarrollo de un país conlleva no solo a un aumento en la población, sino también un aumento en las tasas de uso de agua por persona. Tal cantidad de agua involucra una organización y estrategia a futuro, que permita garantizar el correcto uso del recurso y el suministro de agua para las necesidades de toda la población.

¿Cuál es la situación de Chile al respecto?

Del total de agua disponible en el territorio nacional, el sector agrícola/ganadero/forestal es por lejos el **principal consumidor**, concentrando un 73% estimado de las extracciones, mientras que la minería y los usos industriales comparten un 21%.¹⁸ Esto significa que solo el 6% restante es utilizado para servicios de agua potable y saneamiento. Estos valores varían a lo largo del territorio nacional, cobrando la minería mayor importancia en el norte. En la tabla adjunta se presentan las demandas estimadas de agua por sector económico [m³/s] según la DGA.¹³ (Fig. 5)

Demanda estimada de agua por sector económico [m³/s]

Macrozona	Región	Agropecuario	Agua Potable	Industrial	Minero	Total [m ³ /s]
Norte	XV	3.71	0.96	0.25	0.00	4.92
	I	5.21	0.69	1.43	1.54	8.87
	II	3.31	1.68	1.29	6.26	12.54
	III	12.03	0.87	0.52	1.90	15.32
	IV	27.19	1.89	0.25	0.71	30.04
Centro	V	42.44	5.82	4.81	1.26	54.33
	RM	82.36	27.41	10.42	0.90	121.09
	VI	97.96	2.41	1.23	1.88	103.48
	VII	166.49	2.53	3.77	0.00	172.79
Sur	VIII	69.44	5.16	9.54	1.21	85.35
	IX	11.51	2.34	0.26	0.00	14.11
	XIV	2.21	1.02	1.63	0.00	4.86
	X	1.10	1.39	2.46	1.50	6.45
Austral	XI	0.64	0.29	0.08	2.60	3.61
	XII	1.12	0.38	5.91	0.23	7.64
		526.72	54.84	43.85	19.99	645.40

Figura 5: Demanda estimada de agua por sector económico. Modificado de Atlas del Agua Chile 2016. Información en base de datos de COCHILCO 2015, SISS 2015. Recuperado de <https://goo.gl/KiK5T6>.

Estudios recientes realizados a nivel nacional calculan que la huella hídrica de la producción agrícola en Chile es de 9,51 Gm³/año, lo cual equivale a 572,8

¹⁸ Ayala, L. (2010) *Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) – Primera etapa diagnóstico*. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Santiago, Chile.

m³/persona/año.¹⁹ A pesar de que esto está por debajo del promedio mundial, la fracción de aguas superficiales y subterráneas (**aguas azules**, ver definiciones científicas) consumidas en el proceso es significativamente más alta que el promedio.¹⁹ Adicionalmente, el mayor consumo de estas aguas se concentra en la zona central y la porción inferior de la zona norte, ambas caracterizadas por sus reducidos flujos de agua y escasas precipitaciones en comparación a la zona sur.¹⁹ Esto significa que hay un uso poco eficiente del recurso en zonas que se encuentran en alto estrés hídrico.

El nivel de competencia por agua en Chile es particularmente agudo en el norte, donde toda el agua superficial en el norte de Chile ya fue asignada a mediados del siglo XX,²⁰ y se prevé un aumento en la demanda del 200 % en esta zona para los próximos años.²⁰

El caudal otorgado a nivel nacional al 2016 en derechos consuntivos de aguas superficiales es de 2.958.936 l/s y el no consuntivo alcanza 37.048.777 l/s¹³, concentrados principalmente en las zonas centro y sur del país. El caudal otorgado de aguas subterráneas es de 467.306 l/s, centrado principalmente en la zona centro del país.¹³

Según la superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile (SISS) en su Informe de Coberturas Sanitarias 2016, a diciembre de dicho año se registró a nivel nacional una cobertura de agua potable residencial de 99,92% y de 96,83% de alcantarillado para las **áreas urbanas** concesionadas a empresas sanitarias. Dichas áreas de concesión abarcan un universo de 17.350.812 habitantes. Debe mencionarse que estos porcentajes **abarcan netamente zonas concesionadas**, es decir, **existe un número de viviendas** que se ubican entre el límite operacional de dichas empresas y el límite urbano, las cuales **no forman parte de esta cobertura**.

¹⁹ Donoso, G., Blanco, E., Franco, G., Lira, J., (2015) *Water footprints and irrigated agricultural sustainability: the case of Chile*. International Journal of Water Resources Development, doi: [10.1080/07900627.2015.1070710](https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1070710)

²⁰ Ministerio de Obras Públicas. *Chile cuida su Agua: Estrategia Nacional de recursos Hídricos 2012-2025*. Recuperado de <https://goo.gl/MzF3SG>

En lo que respecta a las **áreas rurales**, los sistemas de agua potable son desarrollados por el Ministerio de Obras Públicas, abarcando las localidades rurales semiconcentradas a lo largo del país. Dicho organismo ha reportado para el 2014 una cobertura nacional de agua potable residencial superior al 99%. Estas localidades corresponden a aquellas que tienen, en primer lugar, más de 15 viviendas por kilómetro de red y sobre 150 habitantes. Una vez que esas zonas son cubiertas, se trabaja en el suministro de agua potable en zonas entre 8 y 15 viviendas por kilómetro de red de agua y más de 80 habitantes. Debe considerarse que existe la posibilidad de que existan viviendas que no hayan sido contempladas por ubicarse en zonas con menor densidad poblacional.

El número total de derechos superficiales otorgados hasta agosto de 2015 es de 52.581, de los cuales 42.946 corresponden a consuntivos y 9.635 a no consuntivos.¹³ Para el caso de las aguas subterráneas, el total de derechos otorgados es de 47.569, de los cuales 46.962 corresponden a definitivos y 607 a provisionales.¹³

El consumo de agua potable en zonas residenciales, es de 137 lt por habitante al día, donde la región metropolitana destaca con el mayor consumo.

Se han realizado estudios científicos que utilizan los datos de tasas de consumo de agua aportados por la DGA y SISS en los cuales se vincula la tasa de consumo de agua con el **nivel socioeconómico** de las personas. Puntualmente, un estudio realizado el 2015,²¹ detalla que en Santiago existe una marcada diferencia en la producción de agua por habitante por comuna (entre las empresas que operan en la Región Metropolitana), y en las tasas de consumo domiciliario de agua potable en función de la comuna. A su vez, el autor atribuye que esto sería consecuencia de diversos factores, principalmente la inequidad socioeconómica existente. Esto se basa en el análisis de datos de la empresa Aguas Andinas (principalmente) en donde se registra, por ejemplo, que los clientes con mayores consumos de agua por día suelen ser aquellos con hogares más pequeños (menos cantidad de habitantes) y pertenecientes a sectores socioeconómicos relativamente más favorecidos.²¹ (Fig. 6)

²¹ Durán, G. (2015) *Agua y pobreza en Santiago de Chile. Morfología de la inequidad en la distribución del consumo domiciliario de agua potable*. Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales. Vol. 41(124): 225-246. Recuperado de <https://goo.gl/vtiunT>

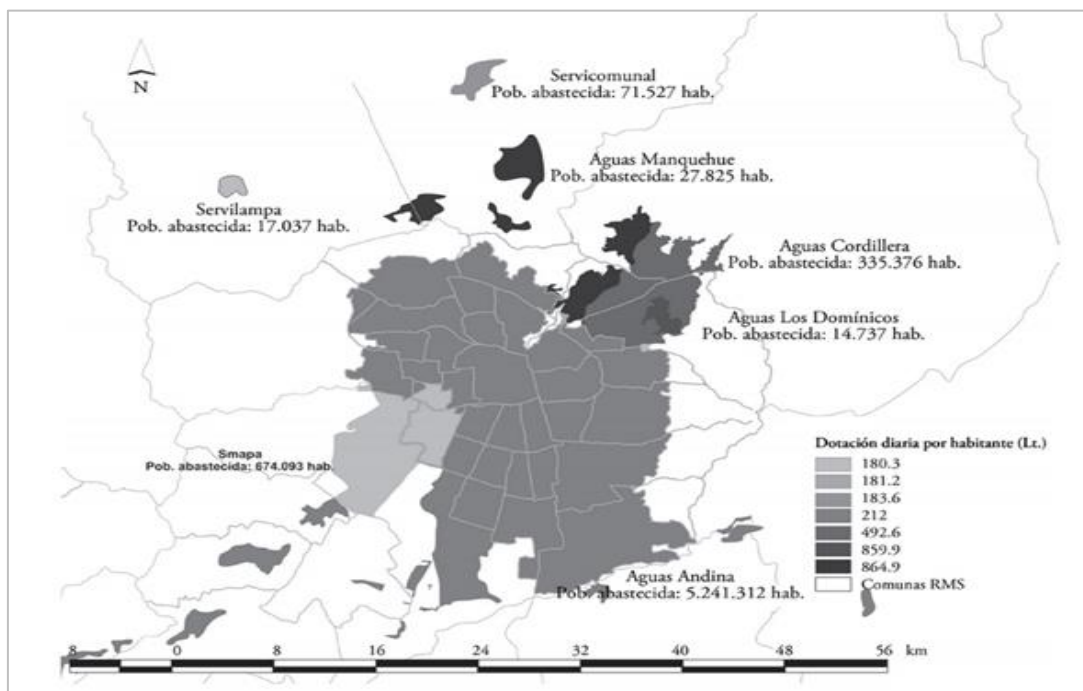


Figura 6: Dotación diaria de agua potable por persona en la Región Metropolitana de Santiago por empresa concesionaria. Fuente: Durán, G. (2015) *Agua y pobreza en Santiago de Chile. Morfología de la inequidad en la distribución del consumo domiciliario de agua potable*. Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales. Vol. 41(124): 225-246.

Conceptos científicos que no pueden faltar

La **huella hídrica** (water footprint) es un indicador que permite caracterizar el volumen de agua usado para la producción de un bien o servicio.²² Considera el volumen de agua **consumido** y **contaminado** en el proceso. Incluye tanto los usos directos como indirecto. Se puede medir en base a tres elementos:

- **Agua azul** es el volumen de agua dulce superficial o subterránea extraída e incorporada en el proceso productivo.
- **Agua verde** es el volumen de agua de precipitación utilizada en el proceso productivo.

²² Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012) *The water footprint of humanity*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(9), 3232–3237, doi: [10.1073/pnas.1109936109](https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109)

- **Agua gris** es el volumen de agua contaminada durante el proceso productivo. Se mide como el agua requerida para diluir los contaminantes a una concentración aceptable.

Soluciones propuestas

- Estratificación correcta del otorgamiento de los derechos de agua, privilegiando en primer medida el consumo humano básico de acuerdo a las normas establecidas por las Naciones Unidas.
- Generar campañas de educación, a toda escala de la sociedad, con el fin de destacar la importancia del manejo del recurso hídrico, el valor real de este como un recurso **LIMITADO** y **ESCASO**, y la importancia del actuar responsable de cada individuo en pos de la comunidad.
- Desarrollar el conocimiento científico y establecer un vínculo entre éste y los agentes que toman decisiones, para así formar políticas públicas que garanticen la **sustentabilidad del recurso a largo plazo**.

II. IMPACTO

a. Agua y cambio climático

Según estudios de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), en Chile se ha observado un aumento de temperatura en el valle central, particularmente en la Cordillera de los Andes (donde se ubican la mayoría de nuestros recursos hídricos) desde el año 1976.²³ Adicionalmente, se ha detectado que los glaciares están en retroceso. Chile es el país con la mayor concentración de glaciares en el hemisferio sur. El inventario de glaciares de la DGA estima que la cobertura glaciar total alcanza los 23.641 km², correspondiendo a un 3,1% de la superficie de nuestro país, y un 80% de la superficie de glaciares de Sudamérica.²⁴ Estudios han demostrado que los deshielos de los glaciares son una importante fuente de recarga para los ríos en la zona central, especialmente en años

²³ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2013) *Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters*. OECD Studies on Water, OECD Publishing, doi: [10.1787/9789264200449-en](https://doi.org/10.1787/9789264200449-en)

²⁴ Ministerio de Obras Públicas y Dirección General de Aguas. (2016) *Atlas del Agua Chile 2016*, capítulo 3. Recuperado de <https://goo.gl/KiK5T6>

más secos.²⁵ Este valioso recurso natural y fuente de recarga corre serio peligro si es que las temperaturas siguen aumentando al ritmo proyectado.

De los registros de precipitación de la zona centro del país en los últimos 100 años, destaca un marcado evento de mega-sequía entre los años 2010-2015.²⁶ Este evento, si bien tiene directa asociación con condiciones naturales, como el fenómeno de El Niño, recientes estudios sugieren un factor antrópico de al menos un 25% en el déficit de precipitaciones.¹²

El informe de la OECD resume el impacto proyectado en Chile, a causa del calentamiento global, en los siguientes puntos:²³

- Aumento de la temperatura promedio en Chile continental entre 2 a 4°C, con un mayor aumento en las regiones Andinas y menores aumentos hacia el sur.
- Variaciones en las precipitaciones mayores a un 30% en algunas regiones del país para el año 2040, con sequías más intensa en la zona central. Disminución en un 25% de las precipitaciones desde Antofagasta a Puerto Montt, y un aumento en las precipitaciones desde Chiloé hacia el sur.
- Reducción de las áreas montañosas capaces de almacenar nieve y movimiento de la isoterma 0°C hacia altitudes mayores.
- Retroceso de los glaciares (y su consecuente efecto en el suministro de agua a ríos, lagos y aguas subterráneas)
- Disminución en los flujos de agua para las cuencas hidrográficas del país.
- Aumento de la cantidad de meses al año en déficit hídrico en prácticamente todas las cuencas hidrográficas. Esta impactará en gran medida la disponibilidad del recurso hídrico para el uso humano.
- Impacto significativo en la calidad del recurso hídrico, a medida que la capacidad de los ecosistemas de diluir y regular los contaminantes se ve disminuida.
- Aumento de la sequía, especialmente en las zonas norte y central.
- Impacto negativo en los ecosistemas que dependen de la calidad y cantidad del recurso hídrico, tanto en el desarrollo y biodiversidad de ecosistemas acuáticos como de los ecosistemas que dependen de las aguas subterráneas.

²⁵ Bravo, C., Loriaux, T., Rivera, A., and Brock, B. W. (2017) *Assessing glacier melt contribution to streamflow at Universidad Glacier, central Andes of Chile*. Hydrol. Earth Syst. Sci, 21, 3249-3266, doi: [10.5194/hess-21-3249-2017](https://doi.org/10.5194/hess-21-3249-2017).

²⁶ Centro de Investigación sobre Clima y Resiliencia. (2015) *Mega sequía (2010-2015): Una lección para el futuro*. Informe para formuladores de políticas preparado por el Centro de Investigación sobre el Clima y la Resiliencia (CR)², Chile. Recuperado de <https://goo.gl/N8s5mU>

III. STAKEHOLDERS ENTREVISTADOS

- **Linda Daniele.** Doctora en Hidrogeología, Universidad de Almería, España. Profesora asistente, Universidad de Chile. Investigadora principal, Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes.

BORRADOR

ÍNDICE DE TÉRMINOS CIENTÍFICOS

Acuícluido	04
Acuífero	04
Acuífardo	04
Agua(s):	
Azul	15
Subterráneas	04
Superficiales	01
Gris	16
Verde	15
Balance hídrico	04
Calentamiento global	10
Cuenca de drenaje/Cuenca hidrográfica:	
Endorreicas	02
Exorreicas	02
Descarga	04
Desertificación	10
Ecosistema	02
Huella hídrica	15
Intrusión salina	04
Línea divisoria de aguas	02
Nivel freático	04
Recarga	04
Sobreexplotación	04
Sequía:	
Agrícola	09
Hidrológica	10
Meteorológica	09