

## **CAPÍTULO 7**

---

# **Acuerdos contingentes como instrumentos flexibles para reducir los impactos de las sequías en el consumo humano en contexto de incertidumbre**

**SEBASTIÁN VICUÑA**

Escuela de Ingeniería UC

**JORGE GIRONÁS**

Escuela de Ingeniería UC

**ÓSCAR MELO**

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC

**DANIELA RIVERA**

Facultad de Derecho

**MARÍA MOLINOS**

Escuela de Ingeniería UC

# Acuerdos contingentes como instrumentos flexibles para reducir los impactos de las sequías en el consumo humano en contexto de incertidumbre

INVESTIGADORES<sup>1</sup>

**SEBASTIÁN VICUÑA**

Escuela de Ingeniería UC

**JORGE GIRONÁS**

Escuela de Ingeniería UC

**ÓSCAR MELO**

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC

**DANIELA RIVERA**

Facultad de Derecho

**MARÍA MOLINOS**

Escuela de Ingeniería UC

---

## Resumen<sup>2</sup>

Uno de los impactos esperados del cambio climático en Chile es la alteración en las precipitaciones y temperaturas, modificando los regímenes hidrológicos y la disponibilidad de agua. En este ámbito, es fundamental adoptar medidas para garantizar la calidad y continuidad del suministro de agua potable a la población. Existen dos tipos de medidas de adaptación para evitar fallas en un sistema de abastecimiento de agua potable: estructurales y no estructurales. Las primeras se refieren a la construcción o reparación de infraestructura, aumentando la capacidad que tiene el sistema para producir, tratar y distribuir el agua, ya sea en el corto o largo plazo y las segundas modifican el sistema desde la administración y uso del recurso, ejecutando acciones sin alterar necesariamente su configuración física. Los planes de desarrollo de

---

1 Este trabajo se realizó con el apoyo del proyecto ANID Sequías Integrando el monitoreo de la sequía y el diseño de políticas públicas hacia la gestión proactiva de la sequía (FSEQ210018). Agradecemos a Antonia Ávila, Sebastián Aedo, Valentina Strappa y Juan de Dios Guzmán, quienes colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

2 Esta propuesta fue presentada en un seminario organizado por el Centro de Políticas Públicas UC, realizado el miércoles 16 de noviembre del año 2022, en el que participaron como panelistas Javier Crasemann, presidente de la Junta de Vigilancia 1ª Sección Río Aconcagua y Cristian Schwertler, director de planificación, ingeniería y construcción de Aguas Andinas.

empresas sanitarias no incluyen de manera explícita escenarios de cambio climático en el diseño de las medidas de adaptación, más bien consideran que la demanda de agua puede cambiar, pero que el clima se mantiene con las mismas características del pasado. En un contexto de clima cambiante, esto genera que se deban tomar medidas reactivas no planificadas, lo cual dista de ser una solución ambiental, social y económicamente óptima (no sostenible). En la zona central de Chile, la necesidad de implementar acciones para asegurar el suministro de agua para ciudades como Santiago o Valparaíso ha generado tensiones entre las empresas sanitarias y otros usuarios relevantes de los recursos hídricos, como son los agricultores. En este contexto, el objetivo de este estudio es diseñar un instrumento flexible y adaptativo de política pública que permita reducir los impactos de las sequías en el consumo humano de agua en un contexto de profundas incertidumbres e intereses de múltiples actores. El instrumento propuesto consiste en el diseño de preacuerdos de traspaso temporal de volúmenes de agua entre proveedores de servicios sanitarios y otros titulares de derechos de aprovechamiento que integren organizaciones de usuarios de aguas. Estos preacuerdos deben considerar una compensación adecuada (por el costo asociado a la transferencia de agua) y deben perfilarse como un complemento a otras medidas estructurales que necesariamente debe implementar la empresa sanitaria para asegurar el abastecimiento de agua potable en su área de servicio. En este estudio se ha evaluado la potencial implementación de dicho instrumento en la cuenca del Río Aconcagua y en la conurbanización Valparaíso-Viña del Mar. Algunos aspectos relevantes que deben ser considerados en el diseño e implementación del instrumento son: i) caracterización de variables que gatillan la ejecución del instrumento, ii) cuantificación del volumen de agua que se traspasa y que está sujeto a compensación; iii) definición del mecanismo de compensación económica, y posibles ajustes normativos.

A través de modelos de simulación, se caracteriza y evalúa una potencial aplicación del instrumento considerando distintos escenarios climáticos futuros. Los resultados muestran que, dependiendo del escenario, el instrumento se aplicaría entre 11 y 23 veces en el periodo comprendido entre 2019 y 2061. En base a escenarios de consumo de agua y compensación, se determina el volumen de agua y el monto aproximado de compensación a los cedentes de agua para el caso del Gran Valparaíso. Más allá del caso de estudio desarrollado, se discuten las oportunidades y limitaciones que implica el diseño e implementación del instrumento propuesto. Adicionalmente, se analizan los aspectos prácticos, jurídicos y políticos relevantes de la potencial aplicación del instrumento. Esta propuesta se debe entender como un complemento a otras herramientas que necesariamente deben adoptarse para abordar la adaptación a las sequías y el cambio climático.

## 1. Introducción: antecedentes y relevancia del problema público a abordar

Uno de los impactos esperados del cambio climático en el mundo en general, y en Chile en particular, es una alteración en los niveles de precipitación y temperatura, lo que resultaría en nuevos regímenes hidrológicos, modificando la disponibilidad de agua en el tiempo. Estas alteraciones podrían comprometer la capacidad que tienen los sistemas hidrológicos para satisfacer las múltiples demandas de agua, como la ecosistémica, la de subsistencia o consumo humano y la productiva, y aumentar los riesgos asociados a fenómenos extremos relacionados con este elemento. Una forma de abordar estos riesgos es a través de una planificación estructurada que permita acoplar y articular las necesidades de los diferentes actores, su interdependencia y la creciente competencia por el uso del recurso producto de una menor disponibilidad. Este tipo de aproximación permitiría mejorar la seguridad hídrica y reducir los impactos negativos en la sociedad, la economía y el medio ambiente.

Uno de los ámbitos clave de la vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático es el del acceso a agua potable. Dada su preeminencia, es vital garantizar la calidad y la continuidad de su suministro, evitando fallas que pueden tener consecuencias perjudiciales o irreversibles. En el caso de Chile, las empresas sanitarias encargadas de proveer agua en los territorios operacionales concesionados enfrentan actualmente una menor disponibilidad de almacenamiento de agua, cambios en la temporalidad de los caudales, floración de algas producto del aumento de temperatura en el agua, empeoramiento de niveles de turbidez, salinización de reservas de agua costeras, entre otros. Al igual que para los recursos hídricos en general, para asegurar el suministro de agua potable también se debe realizar una planificación a largo plazo por parte de los prestadores sanitarios, que reduzca la vulnerabilidad mediante la implementación de medidas de adaptación. Por lo general, en Chile, la planificación del suministro de agua potable en las áreas concesionadas se realiza a través de programas o planes de desarrollo. Estos son programas de inversiones que los prestadores sanitarios deben desarrollar a un horizonte de hasta 15 años, y que deben actualizarse cada 5 años. En estos planes, las empresas se comprometen a tomar una serie de acciones para asegurar la calidad y continuidad del servicio de agua potable.

Existen dos tipos de medidas de adaptación para evitar fallas en un sistema de abastecimiento de agua potable: estructurales y no estructurales. Las primeras se refieren a la construcción o reparación de infraestructura, aumentando la capacidad que tiene el sistema para producir, tratar y distribuir el agua, ya sea en el corto o largo plazo. Esto se puede lograr, por ejemplo, con nuevos embalses, reutilización de aguas residuales, reparación de las pérdidas del sistema, plantas desalinizadoras, entre otros. Las segundas

modifican el sistema desde la administración y uso del recurso, ejecutando acciones sin alterar necesariamente su configuración física. Por ejemplo, utilizar herramientas financieras en sistemas de recursos hídricos, concesiones financieras para portafolios de gestión de sequías o el uso de contratos de opciones de arriendo de derechos de aprovechamiento de agua (DAA) para períodos de sequía.

Salvo algunas excepciones<sup>3</sup>, los programas o planes de desarrollo de empresas sanitarias no consideran de manera explícita escenarios de cambio climático en el diseño de las medidas de adaptación, y más bien parten de la premisa de que la demanda de agua puede cambiar, pero que el clima se mantiene con las mismas características del pasado. En un contexto de clima cambiante, esto genera que constantemente se tengan que tomar medidas reactivas no planificadas, lo cual dista de ser una solución ambiental, social y económicamente óptima (no sostenible). En el escenario de la severa sequía que ha persistido por los últimos 14 años en la zona central de Chile, la necesidad de tomar medidas para asegurar el suministro de agua para ciudades como Santiago o Valparaíso ha generado tensiones entre las empresas sanitarias y otros usuarios relevantes de los recursos hídricos, como son los agricultores. En el Anexo se entregan mayores antecedentes respecto del escenario de sequía que se vive en la zona central de Chile y su impacto.

La gestión de la sequía en Chile se basa, principalmente, en políticas reactivas, cuyo principal objetivo es reducir, dentro de lo posible, los daños de la sequía (no prevenir o anticiparse a los mismos). Si bien este tipo de medidas permite manejar parcialmente, y en el corto plazo, la situación de sequía, no es una respuesta sostenible frente a este fenómeno. Es necesario diseñar una estrategia o política pública sólida que transite hacia un esquema preventivo de gestión de riesgos y que descentralice gradualmente la gestión de la sequía, involucrando a los usuarios y a los afectados, generando y potenciando capacidades locales.

Basándonos en los resultados de trabajos previos (Vicuña et al., 2018, y Ricalde et al., 2022), se propone incluir mecanismos flexibles de adaptación a la disminución de la disponibilidad de agua en el proceso de preparación de programas de desarrollo por parte de las empresas sanitarias. Lo anterior, con el propósito de mejorar la capacidad para hacer frente a la alta incertidumbre de escenarios futuros y conciliar las posiciones y los intereses de los múltiples actores y usuarios de agua que están presentes en una cuenca.

---

3 Una excepción es el caso de Inglaterra y Gales, donde se define en el proceso de planificación de los sistemas de agua potable la necesidad de incluir escenarios de cambio climático.

## 2. Objetivos de la investigación

**Objetivo general:** diseñar un instrumento de política pública que permita reducir los impactos de las sequías en el consumo humano de agua en un contexto de profundas incertidumbres e intereses de múltiples actores.

**Objetivo específico 1:** proponer cambios o ajustes en la elaboración de programas o planes de desarrollo de los prestadores sanitarios concesionados para prepararse y enfrentar de mejor modo los efectos de la sequía en la disponibilidad hídrica.

**Objetivo específico 2:** evaluar el instrumento propuesto para el caso Valparaíso-Viña del Mar.

**Objetivo específico 3:** generar recomendaciones para la implementación del instrumento de política antes referido.

## 3. Presentación de la propuesta

Se propone incorporar en el diseño de programas o planes de desarrollo de empresas sanitarias preacuerdos de traspaso temporal de volúmenes de agua entre proveedores de servicios sanitarios y otros titulares de derechos de aprovechamiento que integren organizaciones de usuarios de aguas. El programa de desarrollo de una empresa sanitaria es el resultado del proceso de planificación en el que se describen las obras de inversión requeridas para satisfacer las necesidades de agua potable en ambientes urbanos. Se sugiere que los preacuerdos antes citados sean parte de los elementos incluidos, en conjunto con otras obras de inversión. Estos preacuerdos deben considerar una compensación adecuada (por el costo asociado a la transferencia de agua) y deben perfilarse como un complemento a otras medidas estructurales que necesariamente debe implementar la empresa sanitaria para asegurar el abastecimiento de agua potable en su área de servicio.

La fundamentación de esta propuesta se encuentra en los siguientes elementos:

- El reconocimiento legal del derecho humano al agua (artículo 5 Código de Aguas) y la priorización del consumo humano, el saneamiento y el uso doméstico de subsistencia entre todos los posibles usos del recurso hídrico (artículo 5 bis Código de Aguas).
- La incertidumbre respecto a la magnitud de los cambios futuros de la disponibilidad hídrica.
- Los crecientes costos que implica lograr mayores niveles de seguridad hídrica, especialmente frente a una baja capacidad de anticipación y planificación. Parte de estas inversiones pueden no ser justificables o conducentes a un ineficiente uso de recursos.
- La disposición que se observa en algunos titulares de derechos de aprovechamiento destinados al abastecimiento de usuarios de agua potable y al

riego para pagar y aceptar compensaciones que permitan traspasos temporales de volúmenes de agua entre ellos en condiciones de severa sequía.

La materialización de esta propuesta implica tomar decisiones en tres puntos complementarios, que deben ser estudiados con mayor detalle en la instancia de implementación:

- Definición del mecanismo que activa la generación del preacuerdo. Esto tiene relación con el grado de severidad del evento meteorológico que justifique la aplicación del instrumento. En el ejemplo de aplicación numérica, se utiliza el criterio de la declaración de escasez regulada en el artículo 314 del Código de Aguas (Índice de precipitación estandarizado (IPE), Índice de caudal estandarizado (ICE) = -1,04). Se pueden considerar en el futuro distintas condiciones (quizás más exigentes). Esto debiera coincidir con las condiciones hidrológicas utilizadas para evaluar las decisiones de inversión que se incluyen en el programa de desarrollo.
- Cuantificación del volumen de agua que se traspasa y que está sujeto a compensación. Esto implica definir cuánta agua se requiere para satisfacer el uso personal y doméstico. Asimismo, exige diferenciar entre distintos tipos de clientes de los prestadores sanitarios, pues no todos realizan un consumo asociado al derecho humano al agua, refiriéndose este instrumento exclusivamente a los clientes o usuarios residenciales. En este ejercicio de simulación se considera una compensación total y una compensación parcial, utilizando tres umbrales de consumo residencial (10, 15 y 20 m<sup>3</sup>/mes por domicilio), basados en el volumen de agua que se considera como acceso óptimo por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para fines del objeto del derecho humano al agua, y que ha sido también establecido por la Corte Suprema en algunas sentencias pronunciadas en casos de falta de acceso a agua potable (100 litros/persona/día; Howard et al., 2020)<sup>4</sup>; y en el límite que ha tenido generalmente en la práctica y el que se configura como tope a nivel legal del subsidio de agua potable (15 y 20 m<sup>3</sup>/mes por domicilio, respectivamente; artículo 2 letra b) Ley N° 18.778, de 1989; Gomez-Lobo y Contreras, 2003).
- Fijación de elementos básicos de la compensación a usuarios afectados por la priorización del consumo humano, especialmente en escenario de sequía. En este ejercicio se han utilizado tres posibles valores en función del tipo de cultivo que se deja de producir para generar la holgura en agua antes de realizar el traspaso.

<sup>4</sup> Ver sentencias de la Corte Suprema en casos *Dusta, Almendra y otros con Gobernación Provincial de Petorca y otra* (2020); *Gallardo Castro, Ximena y otras con Anglo American Sur S.A.* (2021); e, *INDH con SEREMI de Salud de Valparaiso y otra* (2021).

## 4. Metodología de análisis

Para verificar los elementos críticos de diseño del instrumento propuesto se ha definido una metodología de trabajo en la que se evaluará un caso hipotético de aplicación para la cuenca del Río Aconcagua. Esta metodología se basa en una evaluación para el caso de la ciudad de Santiago, realizada previamente por Ricalde et al. (2022). En este supuesto la experiencia se extiende, incorporando, en conjunto con actores clave, la discusión de aquellas oportunidades y limitaciones que implica el diseño e implementación del instrumento planteado. Algunos de los desafíos que se tienen que revisar y analizar corresponden a aspectos prácticos, jurídicos y políticos: caracterización de variables que gatillan la ejecución del instrumento, definición del mecanismo de compensación económica, y posibles ajustes normativos. Estos aspectos son explorados con los actores relevantes y se presentan los resultados a través de modelos de simulación que permitirán evaluar sus implicancias.

Un elemento importante en la evaluación del instrumento es la frecuencia con que pueda activarse su uso, lo cual se analiza a partir de los modelos hidrológicos y cálculo de índices de sequía. Tomando en cuenta la experiencia de trabajo en un proyecto reciente de caracterización de sequías para la Dirección General de Aguas (DGA) (DGA, 2021), se propone adoptar de manera inicial dos índices de caracterización de sequía para declarar la activación de los instrumentos propuestos: el índice de precipitación estandarizado (IPE) y el índice de caudal estandarizado (ICE). El IPE permite identificar períodos con precipitaciones significativamente menores a la condición normal o esperada, mientras que el ICE identifica períodos donde los caudales son significativamente inferiores al valor normal esperado o el nivel de agua en el río principal que abastece a la cuenca. Ambos índices son de cálculo simple y periódico, de manera de asegurar un seguimiento proactivo para detonar oportunamente el conjunto de acciones a considerar.

Estos son los índices utilizados actualmente por la DGA en el proceso de calificación de sequías severas, antecedente inmediato de la declaración de zonas de escasez (artículo 314 Código de Aguas). Es importante emplear indicadores que no estén influenciados por el uso del agua, es decir, que sean fiel reflejo de las condiciones naturales que afectan la ocurrencia de una sequía y no el producto de las acciones que se tomen como resultado de ésta. Adicionalmente, en función de los valores que vayan adoptando estos índices, se propone un esquema de operación del instrumento incluido en el acuerdo (ej., transferencia temporal de volúmenes de agua), durante el período en que se mantienen las condiciones de sequía, así como la determinación del término de estas condiciones, con el correspondiente fin de la aplicación del instrumento. Se describen a continuación algunos detalles metodológicos.

## 4.1 Activación y ejecución del acuerdo

- A. Se usan los modelos WEAP<sup>5</sup> (Yates et al., 2005) y MODFLOW<sup>6</sup> (Harbaugh, 2005) existentes en el ya aprobado Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) de la cuenca del Río Aconcagua (DGA, 2020). La ventaja de estos modelos es que incorporan aquellos canales a través de los cuales se redistribuye el agua para satisfacer necesidades de producción de agua potable de ESVAl, proveedora de los servicios de agua potable para la conurbación Valparaíso-Viña del Mar. Lo mencionado anteriormente permite que se pueda analizar la cantidad de agua que será necesaria transferir en los diferentes escenarios climáticos modelados. Además, con los datos que se incluyen dentro de estos modelos, es posible realizar la construcción del IPE e ICE, los que permitirán saber cuándo sería necesario activar el instrumento.
- B. Tomando en cuenta la metodología de la DGA (2021), se construyen dos posibles índices de sequía: IPE e ICE. Siguiendo las recomendaciones de la DGA (2021) se usa un período de acumulación en el cálculo. Algunas cuestiones que deben tenerse presente:
- El seguimiento del índice se hace a nivel mensual, pero el acuerdo se gatilla de manera semestral (a comienzos de abril y a comienzos de octubre). Estas fechas son consideradas por marcar en el primer caso el comienzo del año hidrológico y en el segundo el fin de la temporada de lluvias e inicio del periodo de deshielo. Estas fechas pueden reconsiderarse en otro contexto hidrológico.
  - Selección de estación meteorológica de base: los modelos WEAP-MODFLOW están contruidos a partir de series meteorológicas distribuidas en la cuenca. En el caso del Aconcagua se utilizaron datos de la estación fluviométrica de Chacabuquito y los datos meteorológicos de la zona alta de la cuenca.
  - El período histórico se puede usar para la definición de las condiciones de normalidad de precipitación, en este caso el período histórico utilizado es desde 1980 hasta 2018; si se quisiera ser precisos, ese proceso se puede actualizar cada 10 años.
  - Para seguir en línea con la Resolución DGA N° 1.331, del 7 de junio de 2022, se decidió que los índices a utilizar son IPE<sub>12</sub> y ICE<sub>6</sub>. Además, el acuerdo se activará cuando algunos de los índices mencionados anteriormente tengan un valor menor a -1,04.

5 WEAP es un software desarrollado por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI por sus siglas en inglés) que permite la modelación de sistemas hídricos bajo un ambiente gráfico y una interfaz amigable con el usuario.

6 MODFLOW es un modelador de flujo por diferencias finitas desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, el cual consiste de un código fuente que resuelve mediante interacciones la ecuación de flujo del agua subterránea. Se usa en hidrogeología para simular el flujo subterráneo de cualquier acuífero.

- Se consideraron tres escenarios climáticos distintos para hacer el análisis, denominados ACCESS, GDFL y HadGEM<sup>7</sup>, y un período horizonte de estudio de 1980 al 2061.
- C. Cuando se supera el umbral definido en alguno de los meses de activación (abril u octubre) se gatillaría un traspaso temporal de volúmenes de agua desde titulares de derechos de aprovechamiento (en este caso, principalmente agricultores de las distintas secciones de la cuenca) hacia la empresa sanitaria. Para el estudio desarrollado, esto implica aplicar la prioridad que posee el uso personal y doméstico del agua, para operar su infraestructura de producción de agua potable.
- D. Se consideran tres parámetros clave:
  - Umbral de activación (índice y nivel de sequía).
  - Caudal de agua a transferir (esto tiene relación con el volumen de agua que se debiese garantizar para el uso personal y doméstico o función de subsistencia).
  - Participantes en acuerdo.
- E. Se debe dejar registro de los volúmenes de agua disponibles para los concesionarios sanitarios y de los cambios en agua disponible para otros usuarios. No se permite que existan aumentos en la extracción de agua subterránea por parte de los titulares de derechos sobre ellas para compensar la reducción en volumen de agua superficial, o viceversa.

## 4.2 Análisis económico de compensación

- A. El análisis económico busca evaluar los costos de los acuerdos y la caracterización de la posible oferta de estos. Para esto se evalúa la demanda económica de agua en la cuenca, para representar el costo de oportunidad generado por el traspaso de volúmenes entre agricultores y empresas sanitarias. Este análisis busca identificar el costo de oportunidad del agua en el sector agrícola en un contexto de sequía. A partir de la información utilizada en el estudio de Ricalde et al. (2021) de rendimientos, costos, inversiones e ingresos agrícolas, se construyen los costos de oportunidad para diferentes niveles de disponibilidad de agua para riego. Estas funciones son utilizadas para evaluar el monto de compensación de los acuerdos.

---

7 Las siglas corresponden a los acrónimos de modelos de clima global (o GCM). Existen del orden de 30 modelos desarrollados por distintas instituciones de investigación y servicios meteorológicos de países desarrollados.

ACCESS: Australian Community Climate and Earth System Simulator (desarrollado por CSIRO Australia).

GDFL: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (desarrollado por NOAA, USA).

HadGEM: Hadley Centre Global Environmental Model (desarrollado por el Hadley Center de la Oficina Meteorológica de Reino Unido).

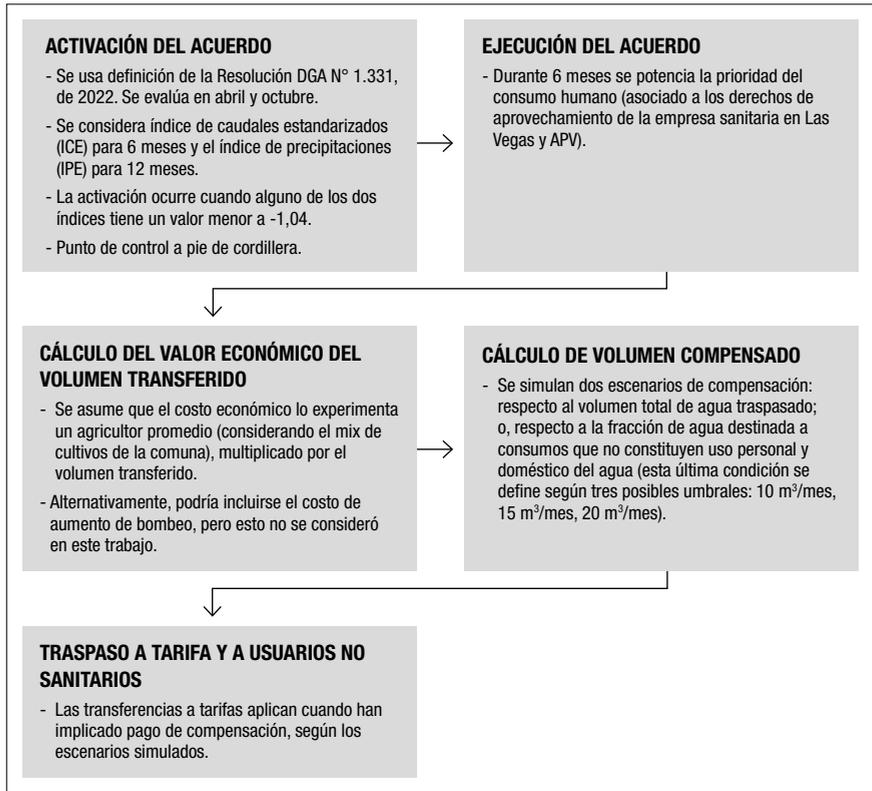
- B. El costo de oportunidad se presenta como un rango de posibles valores. El valor que tiene el agua que riega un conjunto de cultivos se estimó como la razón entre el margen bruto que genera cada cultivo y al agua que consume dicho cultivo<sup>8</sup>.
- C. El valor del agua del conjunto de cultivos presentes en el valle del Aconcagua se obtiene a través de un promedio ponderado de los mismos, de acuerdo con la superficie presente de cada uno, a partir de los datos del último Censo Agropecuario y del Catastro Frutícola. Se reporta, además, un rango de valores del agua, mínimos y máximos, los cuales se basan en agrupar los cultivos en cinco grupos y verificar, dentro de un grupo, cuáles son los márgenes brutos mínimos y máximos. Estos mínimos (máximos) se asignaron luego a todos los cultivos del mismo grupo, en la lógica de la potencial sustitución entre cultivos similares y también por la potencial calidad de los datos utilizados. Los cultivos se agruparon en cereales, forrajeras, hortalizas, viñas y frutales.
- D. El costo económico de la compensación se aplica en dos escenarios posibles. En un caso se considera que la compensación aplica al volumen total de agua traspasado. En el segundo se considera que la compensación aplica solamente a la fracción de agua que se destinaría a consumos que no son uso personal y doméstico del agua. Se han considerado tres posibles umbrales para definir esta última condición: 10, 15 y 20 m<sup>3</sup>/mes por vivienda (medidor), basados en los antecedentes anteriormente citados.

En la Figura 1, a continuación, se muestra, a modo de resumen, el flujo a seguir en la metodología.

---

8 Para cada cultivo se obtuvo el margen bruto por hectárea, en \$/Ha, reportado en las Fichas de Costo de la Oficina de Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura (ODEPA) (Disponibles en <https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos>, último acceso 12 de octubre de 2022), correspondiente a la región de Valparaíso. En caso de no estar disponible el cultivo en esa región, se optó por información de la región Metropolitana y, en su defecto, de la región de O'Higgins. En paralelo, se obtuvo el requerimiento de agua de cada cultivo, en m<sup>3</sup>/há, desde los resultados del modelo hidrológico WEAP. A continuación, se procede a armar el indicador de margen bruto por agua aplicada, en \$/m<sup>3</sup>, dividiendo el margen bruto por el rendimiento de agua. Este indicador corresponde al valor del agua por cultivo.

Figura 1. **Flujo de información de la metodología utilizada**



Fuente: elaboración propia.

## 5. Resultados del testeo del instrumento

En esta sección se presentan los resultados al aplicar la metodología propuesta para el caso de estudio de la cuenca del Río Aconcagua y las necesidades de provisión de agua que ESVAL tiene en esta cuenca para satisfacer las necesidades de uso personal y doméstico (consumo humano) de Valparaíso-Viña del Mar.

Los resultados se presentan, primero, dando cuenta de las diferentes condiciones climáticas que es posible esperar en la cuenca del Río Aconcagua. Tomando en cuenta información proveniente del Atlas de Riesgo Climático (Arclim<sup>9</sup>), se consideran tres posibles escenarios futuros: uno positivo (Modelo ACCESS), donde las precipitaciones pueden aumentar; un escenario negativo (HadGem), donde las precipitaciones disminuyen; y uno intermedio (GFDL), donde las precipitaciones disminuyen levemente.

9 <https://arclim.mma.gob.cl/>

En la Tabla 1 se pueden apreciar los cambios esperados en términos de precipitaciones y caudal en la zona de estudio.

Tabla 1. **Precipitación y caudales históricos y proyectados para distintos escenarios**

Periodo	Cambios en precipitación (mm/año)			Cambios en caudal (en m <sup>3</sup> /s)		
	ACCESS	GFDL	HadGEM	ACCESS	GFDL	HadGEM
<b>Histórico (1980-2018)</b>	457			1082		
<b>Futuro cercano (2019-2039)</b>	486 (+6%)	429 (-6%)	402 (-12%)	1155 (+7%)	1013 (-6%)	970 (-10%)
<b>Futuro lejano (2040-2060)</b>	513 (+12%)	374 (-18%)	357 (-22%)	1268 (+17%)	885 (-18%)	834 (-23%)

Fuente: elaboración propia.

Para poder presentar el análisis se eligieron cinco sitios de riego ubicado en diferentes secciones de la cuenca. El sitio 1 (S02-4) se encuentra ubicado en la primera sección del Aconcagua, los sitios 2 (S06), 3 (S08) y 4 (S09) están en la segunda sección y el sitio 5 (S11) en la tercera. Por otro lado, se consideraron dos canales para el caso de ESVAL, denominados agua potable para Valparaíso (APV) y Las Vegas. La ubicación de los puntos utilizados para medición de los índices, los sitios de riego y los de ESVAL se pueden ver en la Figura 1 del Anexo de este trabajo.

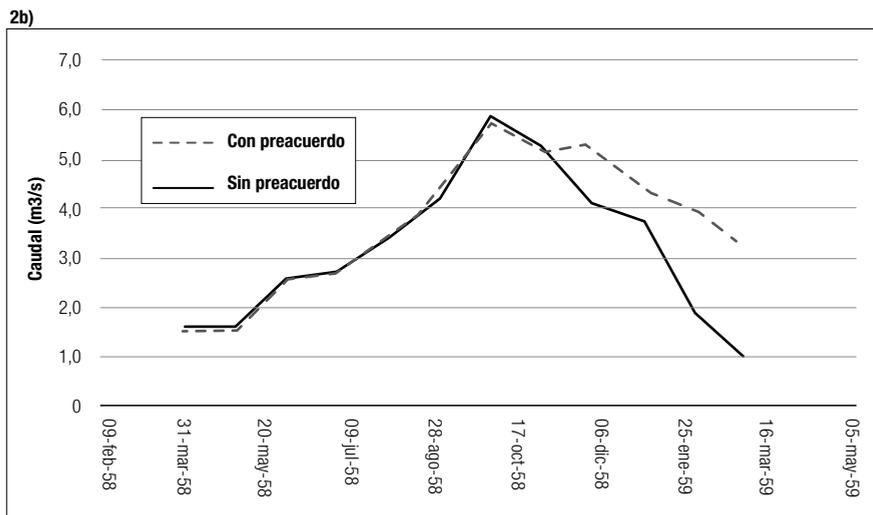
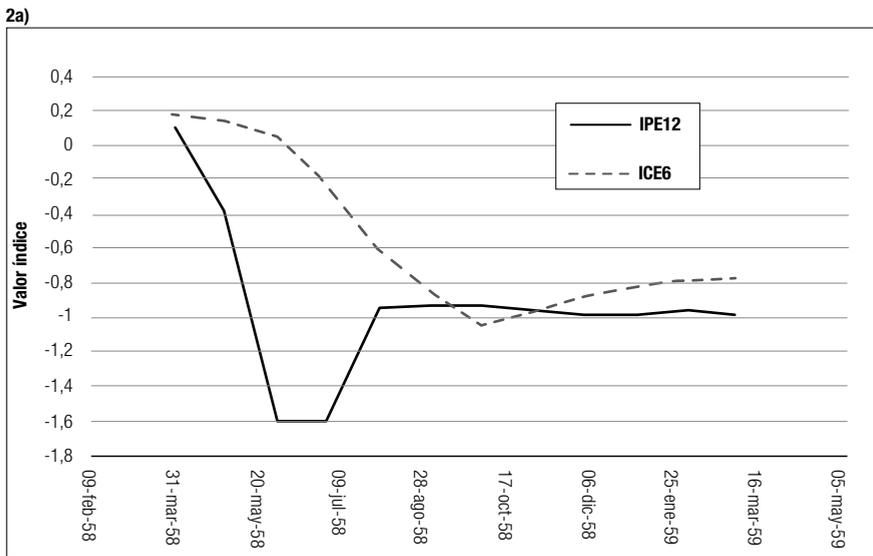
Aplicando la metodología descrita anteriormente se puede obtener la cantidad de veces en las que se declara en el futuro una condición de severa sequía y, por ende, se activa el acuerdo en los distintos escenarios climáticos en el horizonte de estudio. Las activaciones son de 11, 23 y 20 veces para los escenarios ACCESS, GFDL y HadGEM respectivamente. Es importante destacar que el horizonte de estudio que se considera es desde 2019 hasta el año 2061. Además, a pesar de que el escenario HadGEM tiene menores precipitaciones y caudales, genera una menor cantidad de activaciones del Acuerdo que el escenario GFDL.

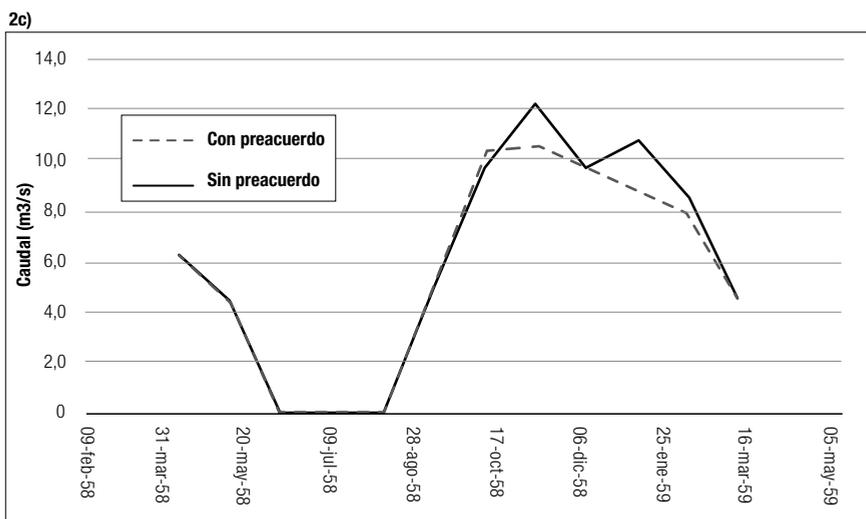
Para poder mostrar de mejor manera qué es lo que ocurre en el caso de que se active el acuerdo es que se tomará un escenario (el GFDL), y un año hidrológico en específico (abril de 2058 a marzo de 2059). A continuación (ver Figura 2), se muestra cómo varían los dos índices en el período y escenario climático señalados. Se puede observar (Figura 2a) que, en octubre de 2058, el ICE6 tiene un valor menor a -1,04, por lo que se activa el Acuerdo para los siguientes seis meses<sup>10</sup>. Esto lleva a que ocurra lo que se muestra

<sup>10</sup> El valor del IPE en meses anteriores fue menor al umbral de activación, pero ello no ocurre en alguno de los dos posibles meses de activación (i.e. abril u octubre).

en las figuras 2b y 2c. De las dos figuras es posible apreciar que el volumen de agua que reciben ESVAL y los sitios de riego, antes de octubre de 2058, es prácticamente el mismo. Sin embargo, al momento de la activación del acuerdo, los sitios de riego comienzan a recibir un menor volumen de agua, mientras que ESVAL recibe un mayor volumen. Esto muestra que, efectivamente, al momento de la activación del acuerdo, existe un traspaso de agua desde los agricultores hacia la empresa sanitaria.

Figura 2. **Ejemplo de activación de acuerdo para escenario GFDL período abril de 2058 a marzo de 2059. a) Valor de índices de sequía; b) Caudal de agua que recibe ESVAL; c) Caudal que reciben los sitios de riego seleccionados**





Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en las tablas 2 y 3, se muestra el volumen total de agua que dejarían de recibir los sitios de riego seleccionados en todo el horizonte de estudios y también lo que recibiría adicionalmente ESVAL en el mismo período. De las tablas 2 y 3, es posible constatar que los sitios de riego dejan de recibir agua producto de la activación del Acuerdo y que ESVAL comienza a recibir una mayor cantidad de agua.

Tabla 2. **Volumen de agua promedio anual cedida por los agricultores desde 2019 a 2061**

Escenarios	Sector de riego (m³/año)				
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
<b>ACCESS</b>	28.460	14.219	109.531	123.753	218.766
<b>GFDL</b>	50.601	49.986	205.668	212.468	682.993
<b>HadGEM</b>	70.980	164.500	138.820	67.857	479.430

Fuente: elaboración propia.

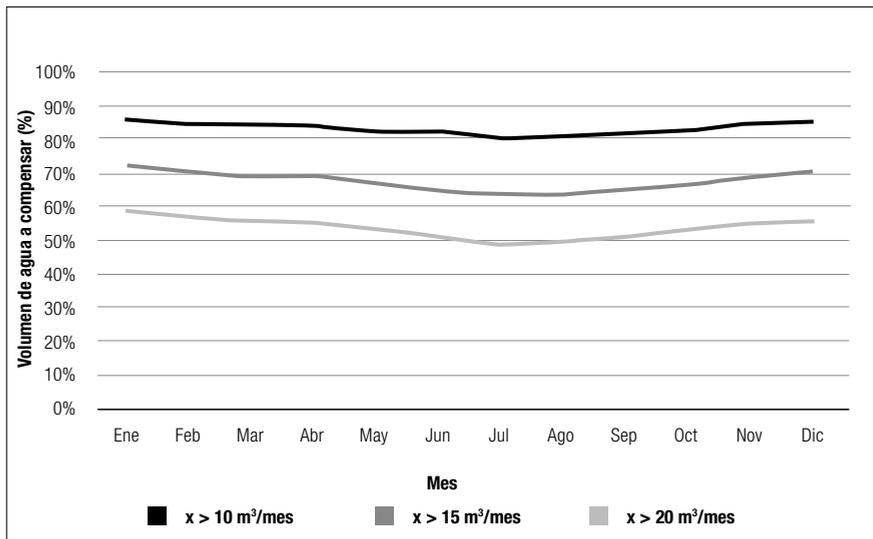
Tabla 3. **Volumen de agua promedio anual entregada a ESVAL desde 2019 a 2061**

Escenarios	Sector de riego (m³/año)		
	APV	Las Vegas	Total
<b>ACCESS</b>	785.376	298.503	1.083.879
<b>GFDL</b>	3.022.561	918.122	3.940.683
<b>HadGEM</b>	2.512.824	1.024.605	3.537.429

Fuente: elaboración propia.

Para estimar el volumen de compensación, se consideraron los datos de consumo de agua potable por rango, entregados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), utilizando los reportes entregados por ESVAL (reporte SIFAC II)<sup>11</sup>. Se consideró el promedio mensual de los datos de consumo de agua por rango (0-10,11-15, 16-20, etc. en m<sup>3</sup> al mes) para el período que va desde enero de 2019 hasta diciembre de 2021 y para el Gran Valparaíso, lo que incluye las comunas de Viña del Mar, Valparaíso, Concón, Quilpué y Villa Alemana. A continuación, se muestran los porcentajes obtenidos para el promedio mensual. Este porcentaje representa, por una parte, el consumo de agua no residencial y, por otra, el consumo de agua por sobre el límite en metros cúbicos por mes a nivel mensual.

Figura 3. **Volumen de agua a compensar, considerando distintos umbrales de uso personal y doméstico o consumo humano**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, en la última etapa del cálculo del costo económico de la compensación se consideraron tres valores para poder calcular el monto a compensar, los cuales son 0,2 USD/m<sup>3</sup>, 0,56 USD/m<sup>3</sup> y 1,1 USD/m<sup>3</sup>. Estos valores deben estimarse como un rango referencial, ya que, entre otras cosas, no se consideró en detalle la composición actual de cultivos de la cuenca.

11 ver <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-7247.html>.

Para obtener el monto final de compensación se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Monto a compensar} = \text{Porcentaje a compensar} * \text{Volumen de agua recibido o cedido} * \text{Valor a compensar}$$

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del monto a compensar para cada porcentaje de agua y escenario climático. Es importante notar que en los valores para riego se incluyen los cinco sitios de riego mencionados anteriormente y que en todos los casos se consideró todo el horizonte de estudio.

Tabla 4. **Monto a compensar por parte de ESVAL en el período 2019-2061 (en USD/año)**

Rango de compensación (m³/mes)	Valor de compensación de 0,2 USD/m³			Valor de compensación de 0,56 USD/m³			Valor de compensación de 1,1 USD/m³		
	ACCESS	GFDL	HadGEM	ACCESS	GFDL	HadGEM	ACCESS	GFDL	HadGEM
<b>Volumen total</b>	249.756	789.747	695.357	699.317	2.211.293	1.947.001	1.373.659	4.343.611	3.824.466
<b>X&gt;10</b>	212.229	670.750	588.775	594.242	1.878.099	1.648.571	1.167.261	3.689.124	3.238.264
<b>X&gt;15</b>	174.624	551.784	482.473	488.948	1.544.995	1.350.923	960.433	3.034.812	2.653.599
<b>X&gt;20</b>	141.203	446.297	388.722	395.369	1.249.633	1.088.422	776.617	2.454.636	2.137.972

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran los mismos resultados de las tablas de arriba, pero calculado por cliente de ESVAL.

Tabla 5. **Monto a compensar por parte de ESVAL por cliente en el período 2019-2061 (en USD/año-cliente)**

Rango de compensación (m³/mes)	Valor de compensación de 0,2 USD/m³			Valor de compensación de 0,56 USD/m³			Valor de compensación de 1,1 USD/m³		
	ACCESS	GFDL	HadGEM	ACCESS	GFDL	HadGEM	ACCESS	GFDL	HadGEM
<b>Volumen total</b>	14	45	40	40	127	112	79	249	219
<b>X&gt;10</b>	12	38	34	34	108	94	67	211	186
<b>X&gt;15</b>	10	32	28	28	89	77	55	174	152
<b>X&gt;20</b>	8	26	22	23	72	62	45	141	123

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. **Monto a compensar a las zonas de riego seleccionadas en el período 2019-2061 (en USD/año)**

Rango de compensación (m <sup>3</sup> /mes)	Valor de compensación de 0,2 USD/m <sup>3</sup>			Valor de compensación de 0,56 USD/m <sup>3</sup>			Valor de compensación de 1,1 USD/m <sup>3</sup>		
	ACCESS	GFDL	HadGEM	ACCESS	GFDL	HadGEM	ACCESS	GFDL	HadGEM
<b>Volumen total</b>	127.210	258.815	190.191	356.189	724.681	532.536	699.656	1.423.480	1.046.053
<b>X&gt;10</b>	108.376	220.477	162.537	303.451	617.336	455.102	596.065	1.212.625	893.951
<b>X&gt;15</b>	89.497	181.889	134.651	250.591	509.288	377.023	492.233	1.000.387	740.581
<b>X&gt;20</b>	72.588	147.340	109.410	203.246	412.553	306.348	399.234	810.371	601.755

Fuente: elaboración propia.

## 6. Discusión respecto a la implementación y factibilidad de la propuesta

En esta sección se presenta un análisis de los distintos aspectos a tener en cuenta al momento de la implementación del instrumento propuesto, en especial, sus antecedentes normativos, y algunas consideraciones para su diseño.

### 6.1 Aspectos normativos

El diseño e implementación de un instrumento como el planteado en este proyecto tiene un enfoque proactivo de gestión de riesgos. Bajo esta visión, y anticipándose a la obligación de adoptar acuerdos de redistribución de aguas que surge ante declaraciones de zonas de escasez para las juntas de vigilancia de una determinada cuenca (artículo 314 Código de Aguas), los titulares de derechos de aprovechamiento que integran tales organizaciones (particularmente, los prestadores de servicios sanitarios, agricultores, industriales, entre otros) puedan celebrar un preacuerdo y/o acuerdo de traspaso temporal de volúmenes de agua. Éste operaría ante circunstancias y bajo condiciones específicamente definidas en lo relativo, por ejemplo, a los umbrales de sequía gatillantes, la compensación que debe pagar el prestador sanitario al actor que le traspase sus volúmenes, las condiciones de operación que debe mantener este prestador, entre otras. Se asume que el diseño de este acuerdo se define en el contexto de un proceso de toma de decisiones de infraestructura a escala de cuenca que permite asegurar que se realicen las inversiones asociadas a mantener de manera adecuada la operación del sistema en una situación en la cual no exista una sequía severa.

Desde el punto de vista jurídico, la factibilidad o viabilidad de esta propuesta se justifica en los siguientes pilares fundamentales de la normativa vigente:

- A. Consagración del derecho humano al agua. De acuerdo con el Código de Aguas, modificado por la Ley 21.435, que entró en vigencia el 6 de abril de 2022, el acceso al agua potable y el saneamiento son derechos humanos esenciales e irrenunciables, y deben ser garantizados por el Estado (artículo 5 Código de Aguas). El objeto del derecho humano al agua es el uso personal y doméstico; es decir, se trata de un uso de agua limitado a aquellas necesidades básicas y esenciales para la vida.
- B. Priorización del consumo humano, uso doméstico de subsistencia y el saneamiento en todo el sistema regulado por el Código de Aguas. También producto de la reforma antes mencionada, el Código de Aguas dispone que, dentro de las diversas funciones que cumplen las aguas, siempre prevalecerá el consumo humano, el uso doméstico de subsistencia y el saneamiento, ya sea al otorgar o al limitar el ejercicio de derechos de aprovechamiento (Rivera et al., 2020). A su vez, se establece que los usos domésticos de subsistencia aluden al aprovechamiento que una persona o familia efectúa del agua que ella misma extrae para utilizarla en la satisfacción de sus necesidades de bebida, aseo personal, bebida de sus animales y cultivo de productos hortofrutícolas de subsistencia (artículo 5 bis Código de Aguas).

Una de las manifestaciones de la priorización de la función de subsistencia se da ante circunstancias de severa sequía, las que, previamente calificadas por la DGA, podrán generar la declaración de una zona de escasez hídrica, por un período máximo de un año, prorrogable sucesivamente. Durante la vigencia de dicha declaración, se aplican una serie de reglas especiales de redistribución de aguas, contenidas en el artículo 314 del Código de Aguas. En lo que interesa especialmente a los fines de este estudio:

- La DGA podrá requerir a las juntas de vigilancia un acuerdo de redistribución, que debe asegurar la prevalencia del consumo humano, saneamiento o el uso doméstico de subsistencia.
- Las asociaciones de canalistas o comunidades de agua que tengan entre sus miembros a prestadores de servicios sanitarios deben adoptar las medidas que se requieran para que estos reciban los caudales necesarios para garantizar el consumo humano, saneamiento o el uso doméstico de subsistencia.
- La DGA podrá autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas, sin necesidad de constituir derechos de aprovechamiento, que se utilicen preferentemente en el consumo humano, saneamiento o el uso doméstico de subsistencia.
- Todo aquel titular de derechos de aprovechamiento que, producto de este acuerdo de redistribución, reciba menor proporción de aguas que la que le correspondería de conformidad a las disponibilidades existentes, tendrá

derecho a ser indemnizado por quien corresponda. Esta indemnización no procederá si dicha menor proporción fuere consecuencia de la aplicación de la priorización del consumo humano, el saneamiento y el uso doméstico de subsistencia.

- C. Exigencias de continuidad y calidad que deben cumplir los prestadores de servicios sanitarios. Los prestadores sanitarios concesionados deben asegurar la continuidad y calidad de sus servicios, lo cual solo podrá ser afectado por razones de fuerza mayor. La SISS podrá disponer que los prestadores celebren contratos que garanticen la provisión de agua cruda cuando su falta afecte la continuidad del servicio. Si la falta de provisión de agua cruda fuere causa de fuerza mayor, y los prestadores se ven obligados a suscribir contratos para su provisión, se deberán fijar nuevas tarifas que incluyan los mayores costos si los hubiere (artículo 35 DFL 382, Ley general de servicios sanitarios y 97 Decreto 1.199).

Estas condiciones o presupuestos deben estar avalados y justificados en el programa de desarrollo de cada prestador, instrumento esencial de la operación y materialización del servicio público de servicios sanitarios. Corresponde al plan de inversiones para un horizonte de tiempo dado, cuyo objeto es permitir al prestador reponer, extender y ampliar sus instalaciones, a fin de responder a los requerimientos de la demanda del servicio (artículo 53 letra k), DFL 382, Ley general de servicios sanitarios). Tanto la SISS como el prestador pueden impulsar la modificación del programa. Cuando se actualiza este instrumento, los prestadores deben probar que tienen en dominio o en uso los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales o subterráneas para atender la demanda en los próximos cinco años, según se prevea en el mismo programa (arts. 155 y siguientes, Decreto 1.199).

En la medida que el instrumento propuesto pueda ser considerado en el plan o programa de desarrollo de empresas sanitarias no se ve la necesidad de hacer cambios regulatorios importantes para su implementación. Lo anterior es sin perjuicio de definiciones que superan los objetivos de este instrumento, y que podrían exigir precisiones normativas, como son el volumen de agua asociado al consumo humano, y otros supuestos básicos de la aplicación de esta priorización, como las condiciones de operación que deben cumplir los prestadores sanitarios.

## **6.2 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño de instrumento**

Adicionalmente a los aspectos normativos, es importante tener en cuenta las siguientes nociones al momento de diseñar este instrumento:

- A. En los últimos años se han aplicado mecanismos de redistribución de agua desde la agricultura al uso urbano en varias cuencas (previo a las últimas modificaciones del Código de Aguas). Esta experiencia debe ser tomada en cuenta en esta discusión:

- En parte estos mecanismos de redistribución se han implementado debido a la sequía, pero también a un sobreotorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua.
  - La implementación de estos acuerdos o redistribuciones ha sido distinta en el caso del Aconcagua-Valparaíso que en el caso del Maipo-Santiago. En este último, los acuerdos han sido más fáciles de obtener. Una de las razones que explica esta diferencia es el hecho de que en Aconcagua la población está aguas debajo de la agricultura, a diferencia del Maipo, donde la población se encuentra aguas arriba, lo que evidencia la importancia de tomar medidas a escala cuenca e involucrando a todos los actores relevantes.
- B. En la eventual implementación del instrumento parece importante:
- Fomentar los ahorros en consumo de agua en ciudades que pueden gatillarse a través de distintos mecanismos (campañas educativas, racionamiento, tarifas progresivas, entre otros).
  - Considerar que la aplicación de este instrumento responde a la lógica del corto plazo. Sin perjuicio de ello, se deben diseñar e implementar medidas estructurales de largo plazo asociadas a decisiones de inversión.
  - Acordar qué significa “consumo humano” al momento de aplicar el instrumento y considerar la potencial compensación.
  - Profundizar en el diseño del instrumento en el caso de agua subterránea donde su aplicación puede ser más compleja debido a que la gobernanza y capacidad de control/gestión de esta fuente de agua es menor.

Dada la importancia de la gestión de recursos hídricos a nivel de cuenca, es importante incorporar otros usuarios del agua, incluyendo el medio ambiente, que pudieran verse afectados por esta nueva distribución de las aguas. En este sentido, y considerando el derecho humano al agua, los sistemas de agua potable rural cobran una especial relevancia. Otros aspectos que podrían incorporarse a medida que el instrumento comience a aplicarse están relacionados con la calidad del agua y el perfeccionamiento del costo del preacuerdo, el cual podría incluir no solo el beneficio perdido por los regantes en cada temporada sino, también, el costo social de cesar la actividad agrícola.

### **6.3 Carácter complementario del instrumento propuesto**

Esta propuesta se debe entender como un complemento a otras herramientas que necesariamente deben adoptarse para abordar la adaptación a las sequías y el cambio climático. Es decir, no desconoce la importancia que otras acciones tienen para abordar el problema, que busca ser un elemento más que puede aportar a su solución.

Por otra parte, el análisis cuantitativo realizado para cuantificar las compensaciones es de carácter ilustrativo y, en ningún caso, busca establecer el monto definitivo de estas compensaciones. Dada la falta de información detallada y actualizada respecto de ingresos, costos y superficie cultivada, se ha planteado un rango amplio de posibles valores.

## Referencias

- Dirección General de Aguas**, (2020). Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca del Aconcagua: informe final. [Consultado el 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://snia.mop.gob.cl/repositorioidga/handle/20.500.13000/125414?locale-attribute=es#:~:text=El%20objetivo%20general%20de%20este%20estudio%20es%20proponer,que%20aseguren%20su%20abastecimiento%20en%20cantidad%20y%20calidad>
- Gómez-Lobo, A., & Contreras, D.** (2003). Water subsidy policies: A comparison of the Chilean and Colombian schemes. *World Bank Economic Review*, 17(3), 391–407. <https://doi.org/10.1093/WBER/LHG028>
- Harbaugh, A. W.** (2005). MODFLOW-2005, *the US Geological Survey modular ground-water model: the ground-water flow process* (Vol. 6). Reston, VA, USA: US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Howard, Guy; Bartram, Jamie; Williams, Ashley; Overbo, Alycia; Fuente, David; Geere, Jo-Anne** (2020): Domestic water quantity, service level and health, second edition (Geneva, World Health Organization) 60 pp.
- Ricalde, I., Vicuña, S., Melo, O., Tomlinson, J. E., Harou, J. J., & Characklis, G.**, (2022). Assessing tradeoffs in the design of climate change adaptation strategies for water utilities in Chile. *Journal of environmental management*, 302, 114035.
- Rivera, D; Molinos, M. y Donoso, G.**, (2020): “Priorización del uso del agua para consumo humano”, *Temas de la Agenda Pública*, 15(131), Centro de Políticas Públicas UC, Santiago, 2020, 15 pp.
- Vicuña, S., Gil, M., Melo, O., Donoso, G., & Merino, P.**, (2018). Water option contracts for climate change adaptation in Santiago, Chile. *Water International*, 43(2), 237-256.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., Huber-Lee, A., & WEAP21, Å.**, (2005). A demand, priority, and preference driven water planning model: Part 1, model characteristics. *Water Int*, 30(4), 487-500.

## Jurisprudencia citada

- Dusta, Almendra y otros con Gobernación Provincial de Petorca y otra** (2020): Corte Suprema, 6 de agosto de 2020, Rol 1.348-2020.
- Gallardo Castro, Ximena y otras con Anglo American Sur S.A.** (2021): Corte Suprema, 18 de enero de 2021, Rol 72.198-2020.

**INDH con SEREMI de Salud de Valparaíso y otra (2021):** Corte Suprema, 23 de marzo de 2021, Rol 131.140-2020.

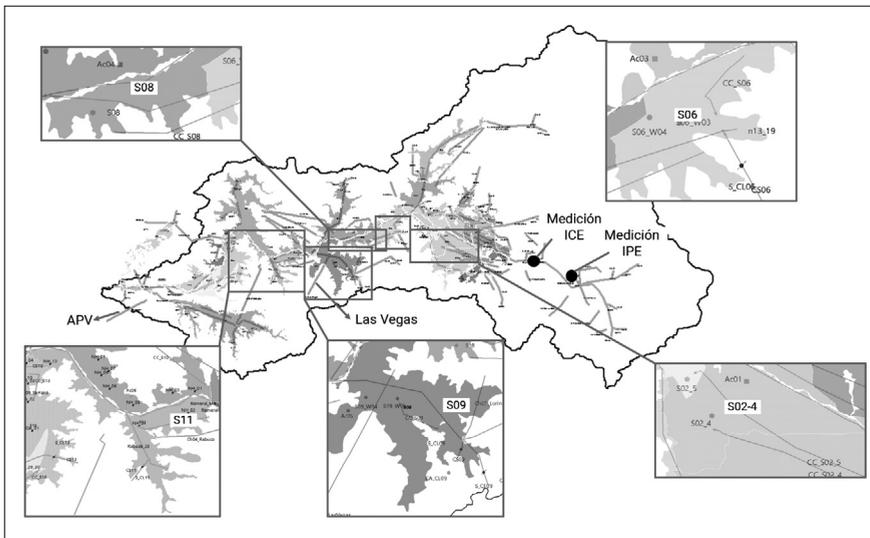
**CÓMO CITAR ESTE CAPÍTULO:**

**Vicuña, S., Gironás, J., Melo, O., Rivera, D., Molinos, M., (2022).** Acuerdos contingentes como instrumentos flexibles para reducir los impactos de las sequías en el consumo humano en contexto de incertidumbre. En: Centro de Políticas Públicas UC (ed), *Propuestas para Chile. Concurso de Políticas Públicas 2022*. Pontificia Universidad Católica de Chile, pp. 200-221.

## Anexo 1. Ubicación de los puntos de medición, sitios de riego y de ESVAL

La ubicación de los puntos utilizados para medición de los índices, los sitios de riego y los de ESVAL se pueden ver en la Figura 1.

Figura 1. **Ubicación de los puntos de medición y sitios de interés en análisis de propuesta**



Fuente: elaboración propia.

## **Anexo 2. Diagnóstico de la situación actual de sequía**

La situación actual se describe en tres contextos distintos para lograr el mejor entendimiento posible del problema: i) contexto jurídico, ii) caracterización de la condición de sequía, iii) impactos que la sequía ha generado en términos de la relación entre las empresas sanitarias y otros usuarios del agua en las cuencas que abastecen los principales centros urbanos del país.

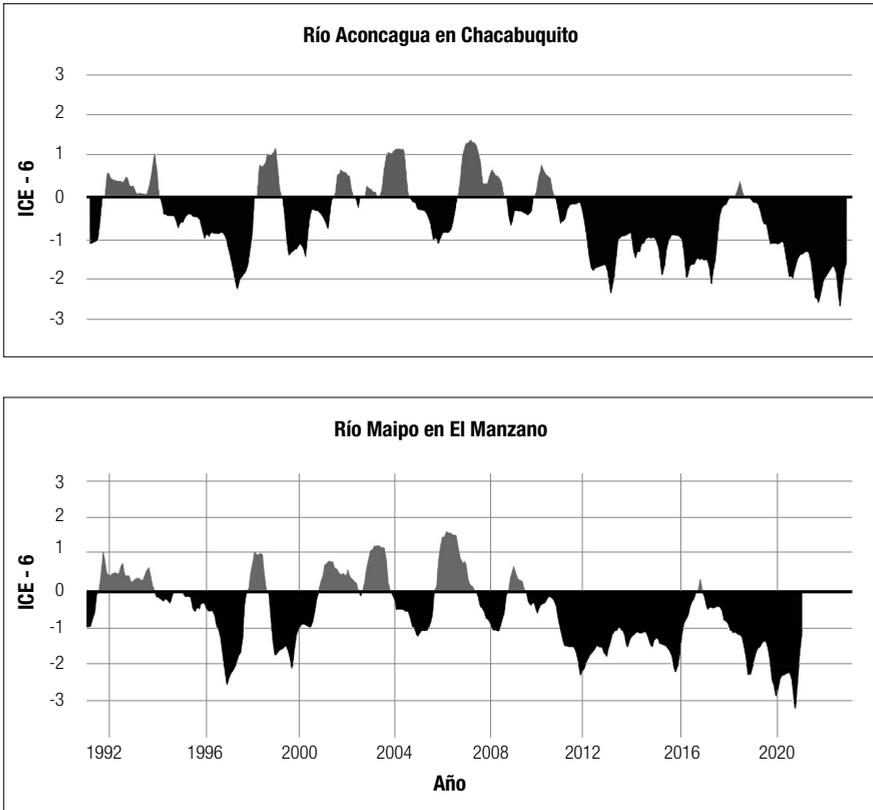
### **Caracterización de las condiciones de sequía**

Desde el punto de vista de los atributos de la sequía que por 13 años ha afectado a buena parte del territorio nacional, destaca su extensión temporal y su severidad. Estos atributos se evalúan mediante índices que sirven como métricas objetivas y cuantificables, que están definidas en la normativa vigente como instrumentos para identificar y declarar sequías severas (Resolución DGA 1331). En esta resolución se proponen, además, los periodos de acumulación a considerar y los valores de estos índices para la identificación de las sequías severas en distintas macrozonas (regiones) del país. Asimismo, se incorpora el concepto de estación de referencia, correspondiente a una estación oficial DGA de precipitación o caudal a asociar con cada comuna del país para la identificación de estas sequías.

La actual sequía puede ser evaluada utilizando lo propuesto en dicha resolución a modo de ilustrar sus características principales en las cuencas del río Maipo y Aconcagua, las que son claves en el proyecto. En particular, y a modo de ejemplo, se utilizan dos estaciones de referencia definidas para la cuenca del Maipo (estación fluviométrica de Maipo en El Manzano), y la estación Río Aconcagua en Chacabucuito, cuya completitud de datos es casi total (esto es, ~99%).

A partir de la evaluación se puede identificar lo prolongada y severa que ha sido la actual sequía si se considera como periodo histórico de referencia el transcurrido entre los años 1979 y 2008. En efecto, la Figura 2 muestra un comportamiento negativo propio de condiciones de sequía hidrológica del índice ICE-6 (Índice de Caudales Estandarizados de 6 meses), tanto en el río Maipo como en el Aconcagua, para prácticamente todo el periodo transcurrido desde 2009. Más aún, a esta extraordinaria extensión temporal se agrega el hecho que en ambas cuencas se han alcanzado severidades incluso mayores (esto es, valores más negativos del índice) a las observadas en 1998, un año particularmente severo en términos de la intensidad de la sequía que ocurrió. En otras palabras, la sequía actual no solo es inusualmente larga, sino también ha tenido intensidades extraordinarias, raramente vistas desde que se tiene registro de caudales en el país.

Figura 2. **Comportamiento del índice ICE-6 en las estaciones Aconcagua en Chacabucquito y Maipo en El Manzano entre los años 1991 y 2020, considerando como periodo histórico de 1979 a 2008**



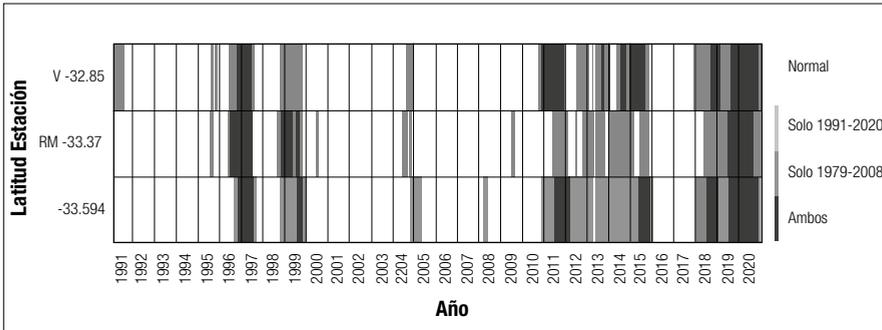
Nota: en gris se presentan valores estandarizados mayores a cero (condiciones de superávit) y en negro los valores menores a cero (condiciones de sequía).

Fuente: elaboración propia.

Un segundo atributo de la sequía actual es su carácter estructural, concepto utilizado para indicar que la menor disponibilidad de agua sería parte de una nueva normalidad debido a los cambios en el clima que está experimentando el territorio nacional. Esto se puede apreciar mejor al comparar el valor de los índices de sequía obtenidos al considerar dos periodos históricos de referencia para definir la normalidad: 1979 a 2008 y 1991 a 2020 (Figura 3). Cabe destacar que este último ha sido definido en la Resolución 1331 como el periodo oficial de referencia a partir del año en curso. En la Figura 3 se colorean en negro los meses en que se tienen condiciones de sequía considerando ambos periodos de referencia, mientras que el color gris es utilizado para mostrar aquellos meses donde se identifica sequía considerando solo el periodo histórico de referencia antiguo, pero no si se considera el nuevo

entre 1991 y 2020. Se puede apreciar que muchos de los meses —e incluso años— que se han considerado como secos no lo serían si es que la referencia o base de comparación son los últimos 30 años. En otras palabras, el cambio climático ha significado una caída en la disponibilidad de agua, lo que estaría llevando a parte del país a una condición distinta que hemos llamado de sequía estructural. Esto es muy relevante, pues hace imperativa la definición de nuevas políticas públicas e instrumentos de adaptación que consideren esta realidad.

Figura 3. **Identificación de sequía hidrológica utilizando el índice ICE-6 en estaciones representativas de las provincias de Santiago y Valparaíso, según dos ventanas históricas de referencia (1979 a 2008 y 1991 a 2020)**

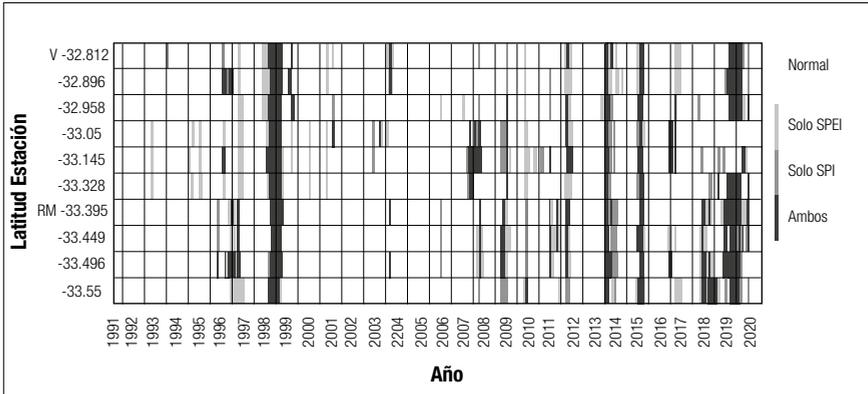


Nota: en color negro se presentan meses con sequía identificada usando ambos periodos de referencia, mientras que en gris se presentan los meses con sequía detectados usando el periodo de referencia 1979 a 2020.

Fuente: elaboración propia.

Más allá de los dos índices utilizados por la DGA para identificar sequías basados en precipitación y caudales, existe el indicador IPEE (Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizado), que adicionalmente considera el comportamiento de la evapotranspiración potencial mensual, proceso representativo de las necesidades de agua de las plantas y cultivos. Dado que en este proceso la temperatura es importante, el IPEE permite visualizar mejor el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica. La Figura 3 presenta una comparación de la determinación de sequías según el IPE-6 y el IPEE-6 para las estaciones de análisis, utilizando como referencia la ventana de tiempo vigente (1991 a 2020). Se puede ver de manera notoria que habría una mayor cantidad de decretos de sequía si es que estos dependieran del IPEE-6 (color gris claro), en especial en aquellas estaciones de la provincia de Valparaíso. En otras palabras, la severidad de la actual sequía podría estar siendo subestimada dado que los impactos sobre la vegetación y los cultivos no están siendo correctamente identificados al no haber una cuantificación del efecto de la temperatura en la evapotranspiración.

Figura 4. **Identificación de sequías meteorológicas utilizando los índices IPE-6 e IPEE-6 en estaciones representativas de las provincias de Santiago y Valparaíso**



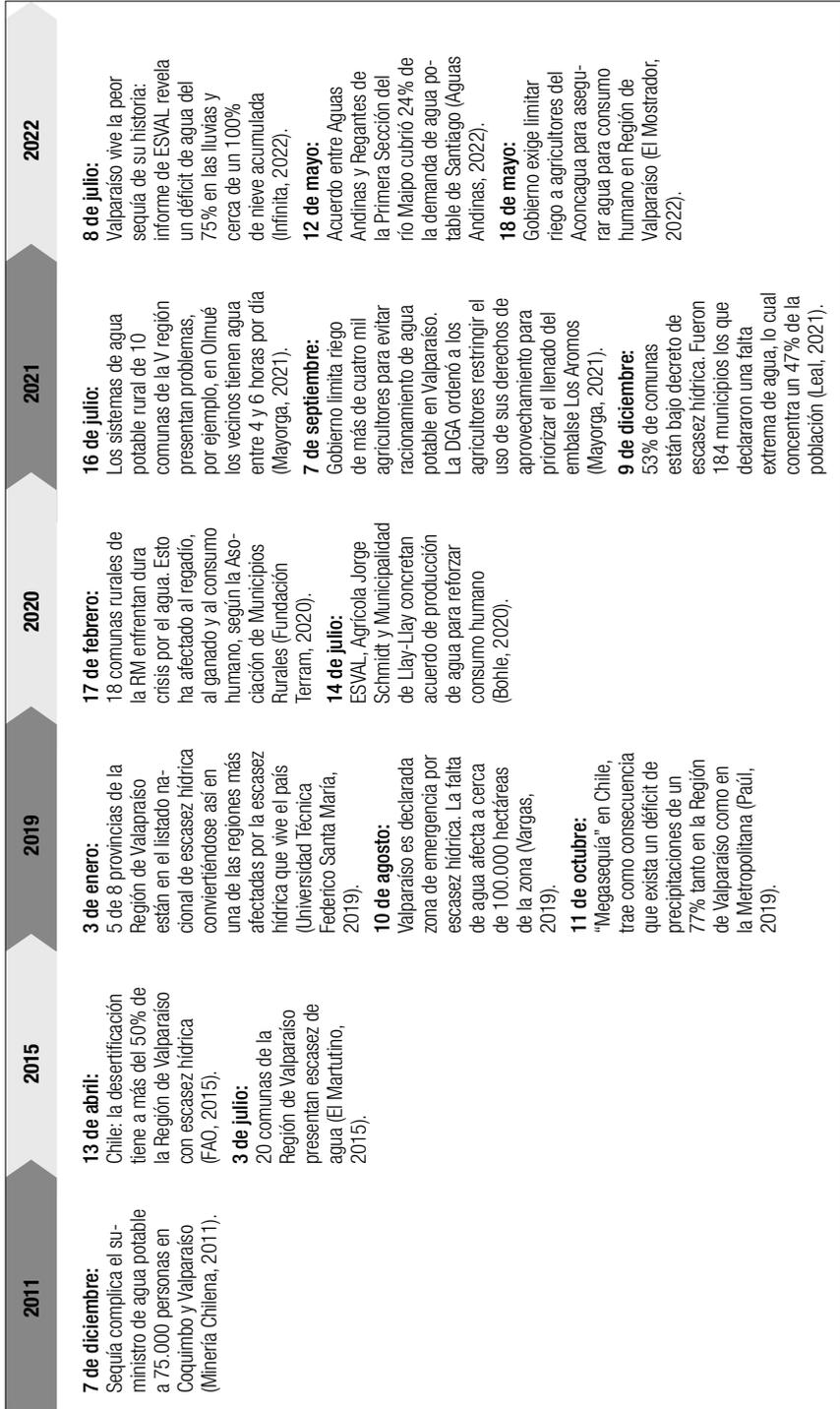
Nota: en color negro se indican meses con sequías identificadas por ambos índices, en gris solo aquellas detectadas por el IPE-6, y en gris claro aquellas detectadas solo por el IPEE-6.

Fuente: elaboración propia.

### Principales impactos de la sequía reciente

Finalmente, como complemento de los efectos que ha tenido esta sequía en la situación del consumo de agua potable en las ciudades de las regiones de Valparaíso y Metropolitana, se presenta en la figura 5 una revisión de noticias en dichas zonas, así como también algunos antecedentes que muestran la factibilidad de la creación de acuerdos.

Figura 5. Línea de tiempo de los antecedentes relacionados con la sequía y el consumo de agua potable



Fuente: elaboración propia



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE