

# AGUAS RESIDUALES

como nueva fuente de agua



Diagnóstico del potencial  
reúso de aguas residuales  
en la Región de Valparaíso



## **Fundación Chile - Gobierno Regional de Valparaíso**

### **Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso**

El presente manual ha sido elaborado por Fundación Chile para el Gobierno Regional de Valparaíso y financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC-R 2014), código BIP 30351025-0

**ISBN:** 978-956-8200-32-9

#### **Equipo Técnico Fundación Chile**

Ulrike Broschek S.  
Claudia Galleguillos C.  
Gerardo Díaz M.  
Karien Volker K.  
Cecilia Vidal C.  
Sebastián Jofré R.  
Sebastián Papi M.  
Axel Dourojeanni R.  
Agustina Mohando  
Florencia Sánchez Z.  
Juan López I.  
Jutta Hoppe

#### **Asesores Especialistas**

Jacobo Homsí A.  
Nicolás Jadue J.  
Cristian Villalobos V.

#### **Edición**

María Laura Martínez

#### **Diseño y diagramación**

Verónica Zurita V.

Publicación sin fines comerciales. Reservados todos los derechos. Queda autorizada su reproducción y distribución con previa autorización y citando fuentes

Santiago-Valparaíso, 2016

# AGUAS RESIDUALES

**como nueva fuente de agua**

Diagnóstico del potencial  
reúso de aguas residuales  
en la Región de Valparaíso

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	7
----------------	---

## **CAPÍTULO 1**

LA PROBLEMÁTICA SE VUELVE CRÓNICA	11
Se encienden las alertas	12
“Mega sequía” en Chile	14
Crisis hídrica en la región	16

## **CAPÍTULO 2**

LA OPORTUNIDAD DEL REÚSO	19
La esperanza en nuevas fuentes	20
Concepto de reúso	22
La experiencia internacional	24
Agricultura: 70% del agua	27
Reúso urbano e industria	29
Recarga de acuíferos	31
Reúso en Chile: un desarrollo pendiente	32
La importancia de una normativa	36

### **CAPÍTULO 3**

ESCENARIOS PARA EL REÚSO EN LA V REGIÓN	39
Agua residual que hoy se pierde	50
Modelo para el reúso	52
Caso Casablanca: vocación vinífera	56
Caso Quillota: la palta es "reina"	60
Caso Petorca: reinversión obligada	64
Impacto regional: PIB y empleo	68

### **CAPÍTULO 4**

LA OPORTUNIDAD SE TRANSFORMA EN DESAFÍO	73
Apoyo regional y nacional	74
Una oportunidad para la región	82

ANEXO	87
GLOSARIO	97
SIGLAS	99



# PRÓLOGO

Movemos la frontera de lo posible. Es el lema que inspira y moviliza cada día a Fundación Chile a buscar soluciones innovadoras a las problemáticas del país.

El agua, como recurso vital, es una de las temáticas que exige nuestra atención y nos lleva a generar herramientas que contribuyan a una gestión hídrica sustentable. El desafío es acuciante en un panorama de sequías cada vez más prolongadas y donde somos testigos del avance del desierto hacia el centro del país, comprometiendo a regiones como la de Valparaíso, donde numerosas comunas han sido declaradas con escasez hídrica y en emergencia agrícola durante los últimos años.

Buscar soluciones que permitan adaptarse a los nuevos escenarios, donde los recursos hídricos irán en disminución y el consumo de agua aumentará en el tiempo, no es una cuestión opcional para nuestro país sino una obligación para habilitar el bienestar de las futuras generaciones de chilenos. Esto a su vez representa una oportunidad enorme de innovación y creación de valor para Chile.

Surge, por tanto, la necesidad de encontrar nuevas fórmulas para suplir la escasez, destacándose aquellas que generen una nueva fuente del recurso. La captación de aguas lluvias, transporte o trasvase de agua desde cuencas, desalinización de agua de mar y reúso de aguas residuales tratadas, están entre las alternativas de una nueva fuente.

Considerando esta situación es que, en el año 2014, Fundación Chile postula y luego se adjudica el proyecto FIC (Fondo de Innovación para la Competitividad), denominado “Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales tratadas en la región de Valparaíso”, financiado por el Gobierno Regional de Valparaíso.

Este proyecto plantea sentar en la discusión una de las opciones de “nueva fuente de agua”, como lo es el agua residual tratada. Esto a través del desarrollo de un modelo conceptual que permita evaluar diferentes escenarios de reúso de las aguas residuales tratadas,

como por ejemplo las que provienen de los emisarios submarinos, que son aguas que actualmente están siendo desaprovechadas, al ser descargadas al mar, y cuyo volumen, sólo en la región de Valparaíso, alcanzaría para regar 27 mil Ha de uva, con descarga anual que supera los volúmenes de los embalses proyectados.

También se incluirán otros posibles escenarios de reúso de aguas residuales tratadas, que sean viables técnico y económicamente, para poder enfrentar el serio problema de disponibilidad de agua en la zona y así incentivar el desarrollo económico de los sectores productivos locales.

El proyecto realiza un análisis estratégico de la Región de Valparaíso, considerando el agua como un bien compartido por diferentes usuarios en un territorio común. El alcance del análisis establece como potenciales beneficiarios a la agricultura, industria y minería quienes al aprovechar estas aguas pueden potencialmente dejar agua disponible en los acuíferos para otros usos, como por ejemplo el consumo humano. Para ello, se levanta un diagnóstico de las fuentes de aguas residuales (oferta); se identifica a los principales consumidores de agua de la región (Huella Hídrica); se ubican las zonas con riesgo hídrico, para determinar una demanda potencial por el agua de reúso, y se realiza una evaluación técnico-económica, para la implementación del sistema de reúso de aguas residuales en la región.

La propuesta de Fundación Chile se basó en los siguientes objetivos específicos:

**Analizar** los factores políticos, sociales, ambientales y económicos que influyen en el reúso de aguas residuales en la región de Valparaíso.

**Determinar** componentes, características e interacciones del uso de agua actual en la región.

**Medir** la sustentabilidad económica del reúso de aguas residuales.

**Dar a conocer** en la región una propuesta de modelo de reúso de aguas residuales y su distribución.



**El resultado de este Diagnóstico** nos lleva a plantear que se trata de un proyecto factible para la V Región de Valparaíso, que permitiría generar una nueva fuente de agua para suplir hasta un tercio de la necesidad hídrica regional de los principales sectores productivos, en caso que se aprovecharan todas las aguas residuales.



Cabe destacar que el proceso de construcción y desarrollo de este estudio contó con el apoyo de expertos internacionales y una amplia participación de actores regionales y nacionales, quienes validaron las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos. Se constituyó un Comité Técnico, integrado por autoridades nacionales, representantes del DOH, SISS, Minsal; autoridades regionales, del GORE Valparaíso; autoridades locales, de la Gobernación Petorca, Quillota y Valparaíso; asesores expertos; además de ejecutivos de empresas y asociaciones gremiales de ESVAL, ANDESS y ECONSSA. Esta instancia fue clave para la validación de resultados y lineamientos a futuro.

El resultado de este Diagnóstico nos lleva a plantear que se trata de un proyecto factible para la V Región de Valparaíso, que permitiría generar una nueva fuente de agua para suplir hasta un tercio de la necesidad hídrica regional de los principales sectores productivos, en caso que se aprovecharan todas las aguas residuales. La experiencia internacional en materia de reúso, permite proyectar las consecuencias positivas que tendría para una administración eficiente de los recursos hídricos y su aporte al desarrollo económico y social, entendiendo que se trata de una alternativa que debe ser implementada en complemento con otras soluciones, en el contexto de una gestión integral del agua. La etapa que sigue –que hemos denominado “Fase 2”– plantea el desafío de establecer una política de reúso de aguas residuales en Chile, así como determinar el modelo de negocios que mejor se adapte a la realidad de nuestro país y de la región en particular.

Conformar una mesa público-privada en pro del desarrollo del reúso se constituye como un primer paso para caminar en forma decidida hacia una nueva fuente de agua.

Andrés Pesce  
Gerente de Sustentabilidad



# CAPÍTULO 1

## LA ESCASEZ SE VUELVE CRÓNICA



Fotografía Fundación Chile

## SE ENCIENDEN LAS ALERTAS

Un lecho de río seco y resquebrajado. Un embalse que baja dramáticamente su nivel. Quebradas que fueron un vergel, transformadas en polvo y rocas. Glaciares que retroceden.

Son imágenes que impactan y generan alerta sobre el presente y futuro de los recursos hídricos. Sea el avance del desierto, el cambio climático o la sequía prolongada la principal causa, o una mezcla de todas ellas, la acción humana se suma como un factor relevante, al seguir aumentando el consumo en la medida que crece la población y el desarrollo de las actividades productivas.

>>> **“Nuestro análisis muestra** que, si los países no adoptan medidas para mejorar la gestión de los recursos hídricos, algunas regiones densamente pobladas podrían verse afectadas por largos períodos de crecimiento económico negativo. Pero los países pueden adoptar ahora políticas que los ayudarán a gestionar el agua en forma sostenible durante los próximos años”.

**Jim Yong Kim**, presidente del Banco Mundial.

Según informes de Naciones Unidas (PNUD), el estrés hídrico afecta ya a todos los continentes y se calcula que un quinto de la población mundial vive en zonas de “escasez física” de agua, que es cuando el recurso no es suficiente para satisfacer la demanda (RWL Water), a diferencia de la “escasez económica”, vinculada a la falta de infraestructura para el transporte de agua (predominante en África).

Es tan urgente este reto en este siglo XXI, que la ONU denominó a la década comprendida entre 2005 y 2015 como “Decenio internacional para la Acción: “El agua fuente de vida”.

El crecimiento poblacional enciende las alarmas respecto al abastecimiento futuro. La población mundial está aumentando a una tasa de aproximadamente 1,2% al año y se proyecta que incremente a 9.000 millones en el año 2030.

Suministrar agua a estos miles de millones de habitantes será un gran desafío, considerando que el agua no sólo es esencial para el consumo humano directo y para los hogares, sino además para producir alimentos y productos manufacturados necesarios para subsistir y mejorar los estándares de vida (FAO, 2013 a).

Las preocupaciones se multiplican al comprobar que el consumo de agua “sin restricciones” creció mundialmente a una tasa de más del doble del aumento de la población en el siglo XX, impidiendo en muchas regiones el suministro de un servicio sanitario fiable.

“La presión demográfica, el ritmo de desarrollo económico, la urbanización y la contaminación ejercen una presión sin precedentes sobre un recurso renovable pero finito, sobre todo en regiones áridas y semiáridas” (FAO, 2013 b).

Un reciente informe del Banco Mundial (mayo, 2016) pone el acento en el efecto que la escasez de agua tendrá en el PIB de varias regiones. En “High and Dry: Climate Change, Water and the Economy” (“Situación crítica: El cambio climático, el agua y la economía”), se afirma que, debido a los efectos combinados del crecimiento de las poblaciones, el aumento de los ingresos y la expansión de las ciudades, la demanda de agua registrará un crecimiento exponencial, en un contexto en el que el suministro se torna más inestable e incierto.

En el estudio del Banco Mundial también se advierte que la menor disponibilidad de agua dulce y la competencia que generan otros usos —como la energía, la agricultura, la actividad doméstica— podrían llevar a

que para 2050 la disponibilidad del agua en las ciudades se reduzca en casi dos tercios respecto de los niveles de 2015.

“Nuestro análisis muestra que, si los países no adoptan medidas para mejorar la gestión de los recursos hídricos, algunas regiones densamente pobladas podrían verse afectadas por largos períodos de crecimiento económico negativo. Pero los países pueden adoptar ahora políticas que los ayudarán a gestionar el agua en forma sostenible durante los próximos años”, declaró Jim Yong Kim, presidente del Banco Mundial.

En América Latina ya se hacen evidentes los cambios en el ciclo hidrológico, registrándose retroceso de glaciares, pérdida de suelos productivos e incluso mortalidad asociada a eventos extremos (elevación del nivel mar, inundaciones, sequías). La menor disponibilidad de agua, en tanto, hace prever conflictos asociados al uso y acceso al recurso (Eco Adapt, 2014).

Este es el contexto mundial que genera el análisis de diferentes alternativas de gestión de agua que pudieran ser implementadas en Chile con el fin de abordar la escasez de agua. Una de las alternativas postulada y adjudicada en el año 2014 es el proyecto FIC regional denominado “Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales tratadas en la región de Valparaíso”, cuyos resultados y análisis se exponen en este documento.





Fotografía Fundación Chile



**Entre 1920 y 1950**, las sequías ocurrían cada 10 años, en promedio. En el último periodo su frecuencia es de año por medio, viéndose hasta la región de Los Lagos afectada. El problema es de tal magnitud, que ya ha alcanzado al 62,3% del territorio nacional.

**Documento de la Cámara de Diputados,**  
"Desertificación en Chile", 2012.

## "MEGASEQUÍA" EN CHILE

Chile no se ha mantenido al margen del fenómeno de escasez hídrica. Al contrario, está entre los países latinoamericanos más afectados.

La agricultura es la prueba concreta de ese déficit. De acuerdo a la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, el 70% del consumo tanto en Chile como en el mundo corresponde a la actividad agrícola, siendo el mayor demandante de agua dulce. A marzo del 2015, un total de 194 comunas en el país (56% del total) habían sido decretadas en emergencia agrícola por sequía, incluyendo algunas que tradicionalmente no son afectadas por este tipo de fenómenos climáticos, como las pertenecientes a las regiones de La Araucanía o la Región de Los Ríos. En el caso de la Región de Valparaíso, un 86% de las comunas quedaron en esa condición.

Las sequías de uno o dos años han marcado presencia en la zona central en distintos periodos de la historia, destacándose los eventos de 1925, 1968 y 1989. Pero el actual fenómeno de déficit, en cuanto al territorio que abarca y a la persistencia en el tiempo, no tiene un paralelo. De ahí la denominación de "Megasequía".

De acuerdo al "Informe a la Nación: megasequía 2010-2015, una lección para el futuro", del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), "desde el año 2010, el territorio comprendido entre las regiones de

Coquimbo y la Araucanía ha experimentado un déficit de precipitaciones cercano al 30%. Esta pérdida de lluvias ha permanecido desde entonces en forma ininterrumpida y ocurre en la década más cálida de los últimos 100 años, exacerbando el déficit hídrico a través de la evaporación de lagos, embalses y cultivos”.

Se prevé que durante el siglo XXI seremos testigos de una progresiva desertificación de la zona centro de Chile, “incrementando la ocurrencia de sequías extensas y prolongadas”.

El cambio climático sería uno de los responsables de este déficit hídrico, lo que explica que se convierta en una condición estructural –y no eventual– de las zonas afectadas.

Incluso a fines del siglo XX, ya se hablaba del avance del desierto en Chile. El “Mapa Preliminar de la Desertificación en Chile”(CONAF, 1999) analizó 290 comunas, concluyendo que el 93% de estas se encontraban afectadas en diferentes grados por procesos de desertificación.

El documento de la Cámara de Diputados, “Desertificación en Chile”, 2012, ponía a los parlamentarios en alerta sobre este cambio progresivo, exponiendo que “entre 1920 y 1950, las sequías ocurrían cada 10 años, en promedio. En el último periodo su frecuencia es de año por medio, viéndose hasta la región de Los Lagos afectada. El problema es de tal magnitud, que ya ha alcanzado al 62,3% del territorio nacional”.

La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa) también ha desarrollado investigaciones, buscando aquilatar las dimensiones de esta alteración climática. Concluye que, dada la importancia fundamental del recurso hídrico para la agricultura y la vida humana en general, “las sequías se han convertido en un fenómeno desastroso para la zona centro-norte del país”.

Asimismo, se anticipa que las alteraciones en la frecuencia y cantidad de precipitaciones, así como en la estacionalidad de las mismas, dejará una huella sobre el comportamiento de los recursos hídricos y la oferta de agua disponible (Centro Interdisciplinario de Cambio Global, CICG-UC).



>>> **Las bajas precipitaciones**, sumadas a la presión sobre los recursos hídricos por el desarrollo agrícola que se ha registrado, han tenido su máximo impacto en los valles de Petorca y La Ligua, donde sus ríos se encuentran mermados debido a estos factores. Estas provincias fueron declaradas zona de catástrofe el 29 de febrero de 2012.

***Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2012.***

## **CRISIS HÍDRICA EN LA QUINTA REGIÓN**

A nivel nacional, uno de los casos críticos es el de la Región de Valparaíso, decretada en los últimos años como zona de crisis hídrica.

Las bajas precipitaciones, sumadas a la presión sobre los recursos hídricos por el desarrollo agrícola que se ha registrado, han tenido su máximo impacto en los valles de Petorca y La Ligua, donde sus ríos se encuentran mermados debido a estos factores. Estas provincias fueron declaradas zona de catástrofe el 29 de febrero de 2012 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2012).

El daño provocado en la agricultura de esas localidades, fue detallado en el informe del Congreso Nacional, citando la disminución en la producción, el alto porcentaje de pérdidas en hortalizas, frutales y colmenas, y la muerte de ganado.





Fotografía Fundación Chile

Una de las postales de la sequía fue el lecho del río Petorca, que permaneció sin agua por prácticamente diez años (El Observador), hasta que un temporal en 2015 le devolvió el caudal, convirtiéndolo en un espectáculo que convocó a la comunidad a sus orillas para presenciar el regreso de este cauce.

En el marco del desarrollo del proyecto “Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales tratadas en la región de Valparaíso”, el equipo de Fundación Chile realizó visitas a terreno que permitieron comprobar los efectos de la sequía en los cultivos de los agricultores. Se recorrieron las cuencas de La Ligua y Petorca, tomando registro fotográfico y conversando con los habitantes aledaños. La creencia es que “la sequía llegó para quedarse”, por lo que piden medidas para enfrentarla, más allá de las reacciones a la emergencia.

De hecho, se ha establecido que la región de Valparaíso posee un alto riesgo de ser afectada por el cambio climático, presentando uno de los mayores descensos en la disponibilidad de recursos hídricos, según el Atlas del Agua de la Dirección General de Aguas (año 2016).

La región ha sentido los efectos económicos, sociales y ambientales provocados por los últimos 7 años de escasez hídrica, enfocando sus esfuerzos en atender las emergencias derivadas de esta situación, donde se ha debido abastecer de agua potable a unas 30 mil personas a través de camiones aljibes, con un costo aproximado de \$1.440 millones de pesos al año.



## CAPÍTULO 2

# LA OPORTUNIDAD DEL REÚSO



**Desde los años cincuenta** ha ido tomando fuerza la idea de considerar las aguas residuales como recurso hídrico utilizable para diversos fines, después de ser sometido a un tratamiento adecuado.

## LA ESPERANZA EN NUEVAS FUENTES

Si la lluvia no cae, o lo hace con menor frecuencia; si la nieve acumulada no permite garantizar deshielos en verano, y si el desierto avanza, amenazando con llegar a zonas que hoy son agrícolas, lo que queda, tanto para la autoridad como para el sector privado y las comunidades, es comenzar a planificar asumiendo esta nueva realidad, pensando en medidas de largo plazo y no simplemente para atacar la emergencia, como ocurre cuando se declara “zona de catástrofe”. La búsqueda de nuevas fuentes de agua se destaca como una propuesta real de solución, ya sea como complemento o suplemento del recurso disponible. La captación de aguas lluvias, transporte o trasvase de agua desde cuencas, desalinización de agua de mar y reúso de aguas residuales tratadas, se cuentan entre las alternativas de nuevas fuentes.



Fotografía Fundación Chile

En el caso del reúso, desde los años cincuenta ha ido tomando fuerza la idea de considerar las aguas residuales como recurso hídrico utilizable para diversos fines, después de ser sometido a un tratamiento adecuado. Sus posibles usos son riego agrícola, acuicultura, uso industrial, uso minero, riego de zonas de recreación, riego de áreas verde, recarga de aguas subterráneas (acuíferos), y –en situaciones de escasez extrema– incluso como agua potable o para higiene personal.

Ha ido generalizándose la aceptación de esta alternativa como una de las relevantes para el manejo del agua disponible. “Con el fin de satisfacer tanto la producción de alimentos como de energía es imprescindible hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos mediante el aumento de la reutilización del agua” (Finley, Seiber, & Ahuja, 2015).

Además de aumentar la disponibilidad del recurso, otra ventaja es la reducción de la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales, subterráneos y zonas costeras, la que genera un impacto ambiental indeseable.

Respecto de la desalinización de agua de mar, que es otra de las soluciones planteadas, el reúso de aguas residuales tratadas posee un costo de inversión 72% más bajo, así como una operación 84% menor, sin considerar los costos de conducción asociados, los que dependen de la distancia a recorrer. No obstante, ambas son soluciones complementarias, ya que abordan diferentes usos en un territorio: desalación preferentemente para agua potable y reúso para riego agrícola y áreas verdes. En el caso industrial o minero, en tanto, se trata de actividades que pueden optar por ambas soluciones.

Fundación Chile, a través de este “Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales tratadas en la región de Valparaíso”, exploró los beneficios y la factibilidad del reúso a nivel regional, aunque escalable al resto del país que –como hemos analizado– no escapa a esta situación de escasez hídrica ni al imperativo de administrar el recurso de forma más eficiente.



Fotografía Fundación Chile



**El reúso de aguas residuales** tratadas permite valorizar un residuo líquido que se elimina a través de los sistemas de tratamiento existente (PTAS urbanas, rurales y emisarios submarinos), los cuales podrían ser recuperados en su totalidad. Actualmente existe la tecnología para tratar y dejar el agua con una calidad tal, que se le puede dar un uso posterior, tanto productivo, de abastecimiento o de mitigación de las situaciones de estrés hídrico.

## CONCEPTO DE REÚSO

El reúso de aguas residuales es una entre otras opciones para el ahorro y uso eficiente del agua, el cual tiene por objetivo aprovechar el recurso previamente utilizado una o más veces en alguna actividad, para suplir las necesidades hídricas de los usuarios o sectores productivos que lo requieran, después de someterlo a un tratamiento determinado.

Uno de los aspectos importantes en el reúso de agua –de acuerdo a las guías de OMS– son los requisitos mínimos de calidad que deben tener las aguas reutilizadas, con el fin de garantizar que microorganismos patógenos presentes en estas no entren en contacto con las personas. Si no se acatan estos requerimientos, puede acarrear problemas de salud pública e impactar negativamente en contaminación de acuíferos, malos olores, salinización de suelos y presencia de vectores.

Su origen no es nuevo. Hay antecedentes del reúso de aguas en la Antigua Grecia (año 3000 AC); en el 1550, en Alemania, y durante el siglo XVIII en Inglaterra. A partir del siglo XX, los primeros antecedentes están en Estados Unidos (1920) y la India (1930).

Se le considera una solución ambientalmente amigable. Reducir el impacto negativo, tanto de la extracción de los cuerpos de agua naturales, como de la descarga de aguas residuales a esos mismos cauces, son algunos de sus beneficios más valorados para un desarrollo sustentable (“Reúso de aguas residuales”).



CIMAD, Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo; Colombia, 2015).

Las aguas residuales se clasifican según su procedencia en domésticas, agrícolas e industriales. Las domésticas se caracterizan por ser una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas o disueltas. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, excretas, sales minerales, etc, correspondiendo al 70% de la materia sólida existente, mientras el 30% restante es inorgánico. Por su parte, las agrícolas constituyen una mezcla de aguas domésticas con las de riego y actividad ganadera. En última instancia, las aguas industriales son de diversa índole y composición, de acuerdo al proceso del que procedan (CIMAD,2015).

Es importante diferenciar regeneración con la reutilización de aguas residuales. La regeneración se refiere al proceso de tratamiento por el cual las aguas residuales pueden reusarse, mientras que la reutilización es el proceso posterior, mediante el cual estas aguas tratadas pueden utilizarse en diferentes ámbitos (Asano, 2002).

Por tanto, el reúso de aguas residuales tratadas permite valorizar un residuo líquido que se elimina a través de los sistemas de tratamiento existente (PTAS urbanas, rurales y emisarios submarinos), el que podría ser recuperado en su totalidad. Actualmente existe la tecnología para tratar y dejar el agua con una calidad tal, que se le puede dar un uso posterior, tanto productivo, de abastecimiento o de mitigación de las situaciones de estrés hídrico.

Hay que considerar que el proceso de desarrollar el reúso de aguas residuales tratadas requiere un entorno propicio y el apoyo de políticas para el aprovechamiento de fuentes de agua no convencionales, así como la gestión de las aguas residuales para la reutilización en diversos sectores (UN-Water, 2013). Esto considera el financiamiento de las instalaciones de reúso de aguas contaminadas, consideraciones de estándar de calidad –dependiendo del uso que se le vaya a dar al recurso recuperado–, marcos regulatorios, entre otros.



Fotografía Fundación Chile

## LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL

El reúso de aguas residuales tratadas es una práctica común en el mundo, especialmente si se considera que las grandes ciudades cuentan con sistemas de tratamiento adecuados que permiten generar aguas de alta calidad, con la capacidad de ser aprovechadas en diversas actividades como riego, uso industrial, consumo humano, entre otras. Sin embargo, también hay casos en que estas aguas residuales no son tratadas de manera apropiada y su potencial de reúso se ve limitado.

>>> “Los países que presentan un mayor volumen de agua residual reutilizada son Estados Unidos y Arabia Saudita. En tanto, si se considera el volumen per cápita, los que lideran son Qatar, Israel y Kuwait”.

*Jimenez & Asano, 2008.*

Los países que presentan un mayor volumen de agua residual reutilizada son Estados Unidos y Arabia Saudita. En tanto, si se considera el volumen per cápita, los que lideran son Qatar, Israel y Kuwait (Jiménez & Asano, 2008).

En los últimos años, y dada la necesidad de una administración más eficiente de los recursos hídricos, ha aumentado la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAS) a nivel mundial, contando con más de 3.000 instalaciones de regeneración con diferentes grados de tratamiento para aplicación en riego agrícola, uso urbano, recreativo e industrial. La distribución de estas instalaciones varía de acuerdo a la tecnología con la que cuentan los diferentes países, dependiendo de los recursos que estos pueden invertir en su construcción y puesta en marcha. En Asia y Estados Unidos se da la mayor concentración de estas PTAS; les siguen Australia y la Unión Europea, quedando en una posición de rezago Medio Oriente, América Latina y



África (FAO, 2013 a). Esta distribución por zona es un indicador sobre el potencial de reúso de aguas residuales en el mundo.

Además de las PTAS urbanas, existen otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, como son las PTAS rurales y los emisarios submarinos. Las PTAS rurales destacan por su gran relevancia social en Chile y otros países, al ser diseñadas e implementadas como una forma de dar solución a los problemas sanitarios de los años 90, producto del riego de vegetales con aguas crudas. El tratamiento de estas aguas por estos sistemas depuradores, permitió reducir considerablemente la ocurrencia de enfermedades como el cólera, tifus, entre otras. Los emisarios submarinos en tanto, se diseñaron como una manera de dar solución a la contaminación de ciudades ubicadas en la costa, cuyo funcionamiento se basa en poder lograr diluciones suficientes de la descarga de aguas residuales para reducir las concentraciones de contaminantes a niveles generalmente establecidos como normas de calidad de agua. El vertimiento de estas aguas residuales al mar, sometidas a un pretratamiento previo y con normas de distancia y profundidad de descarga establecidas, consigue que el efluente eliminado tenga una dilución suficiente para no generar problemas ambientales ni de salud.

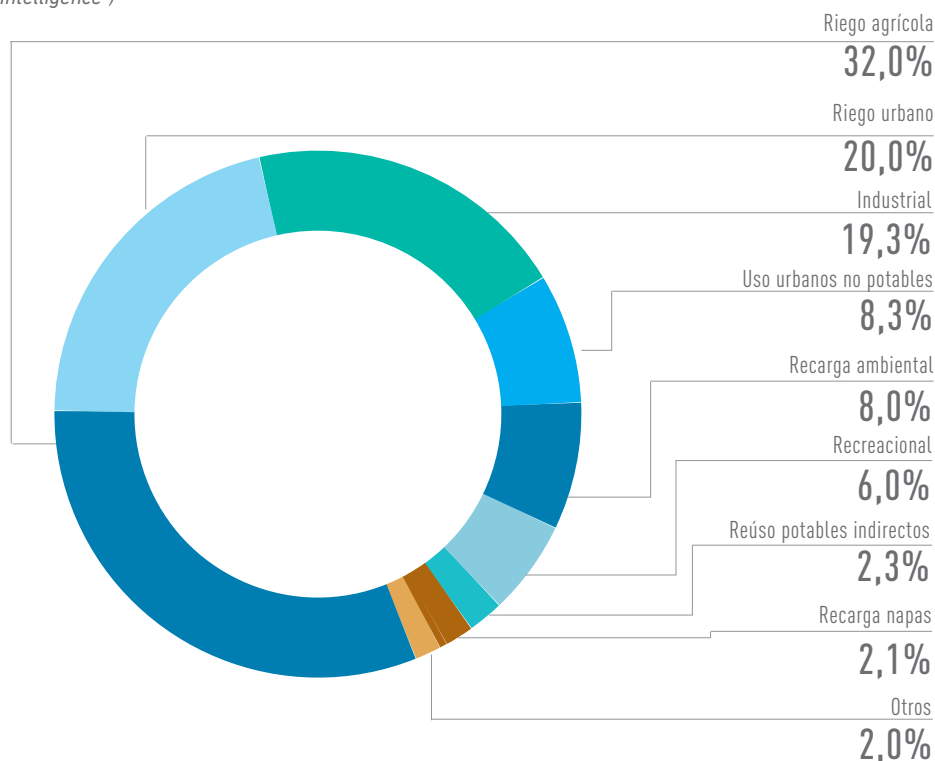
Varios países han establecido objetivos para el reúso, expresados en términos del porcentaje de efluentes de aguas residuales tratadas para obtener una mejor calidad y ser reutilizadas beneficiosamente. Australia, en el año 2012, reutilizaba aproximadamente un 8% de sus

aguas residuales tratadas, proyectando llegar a un 30% en el 2015. Arabia Saudita reutilizaba un 16%, con la meta de incrementar a un 65% en el año 2016. Singapur reutilizaba el 30%, con una meta a largo plazo de diversificar sus fuentes de agua y reducir la dependencia del suministro de fuentes externas; por ejemplo, desde Malasia (EPA, 2012). En Estados Unidos, actualmente se estima que aproximadamente un 8% de las aguas residuales son reutilizadas (Miller, 2006) (GWI, 2010). Israel es el país que está a la vanguardia, proyectando que el 70% del agua que demandará la agricultura para el 2040 será obtenida mediante el tratamiento y posterior reúso de aguas residuales.

A nivel mundial, se estima que el volumen total de aguas residuales domésticas generadas está entre 680 y 960 millones de m<sup>3</sup>/día (GWI, 2010), y la capacidad global de tratamiento avanzado para estas aguas es de aproximadamente 32 millones de m<sup>3</sup>/día, equivalentes al 4% del volumen total generado (GWI, 2010). El volumen de aguas residuales sometidas a un tratamiento secundario, ha aumentado considerablemente, alcanzando una tasa de crecimiento anual en promedio de 2 millones de m<sup>3</sup>/día desde el 2000, permitiendo reutilizar el recurso hídrico de una forma más segura (GWI, 2010). Probablemente, la generación de aguas residuales aumente junto al crecimiento de la población, algo que –sumado a la expansión en la cobertura por redes de alcantarillado– constituye un gran potencial para la reutilización de aguas residuales tratadas globales (EPA, 2012).

## FIGURA 1. DIAGRAMA DE REÚSO DE AGUAS A NIVEL MUNDIAL POST TRATAMIENTO AVANZADO

( Fuente: Adaptado desde "Municipal Water Reuse Markets 2010" de "Global Water Intelligence")



Internacionalmente, las actividades que más utilizan aguas residuales tratadas son:

- Riego agrícola y áreas verdes de parques, cementerios, campos deportivos y jardines
- Usos urbanos y actividades industriales, fundamentalmente para su uso en sistemas de enfriamiento, alimentación de calderas y necesidades de los procesos

- Recarga de acuíferos subterráneos

En la Figura 1 se presenta la distribución global del reúso de aguas residuales, después de haber sido sometidas a un tratamiento avanzado o terciario (EPA, 2012), lo que representa sólo una parte de la actual práctica de reúso a nivel global.

## AGRICULTURA: 70% DEL AGUA

La agricultura representa alrededor del 70% de las extracciones de agua dulce y más del 90% de su uso consuntivo a nivel mundial (FAO, 2013 b), principalmente para la producción de alimentos (FAO, 2013 a). “Se espera que para el año 2050 sea necesario producir 1 billón de toneladas de cereal y 200 millones de toneladas de carne adicionales al año para satisfacer la creciente demanda de alimentos, lo que acrecentará el déficit hídrico mundial si no se hace una gestión eficiente del recurso o se buscan nuevas fuentes para suplir las necesidades de consumo humano e industrial”. (FAO, 2013 b).

Pese a esta enorme demanda, solo una pequeña parte de las aguas residuales mundiales se reúsa actualmente en agricultura. Sin embargo, esta práctica está aumentando en muchos países, y en algunas regiones, donde una alta proporción de agua regenerada se utiliza para el riego (FAO, 2013 a). Según cifras de la UN-Water, se calcula que a nivel mundial 20 millones de hectáreas se abastecen de aguas residuales tratadas, equivalentes a un 7% de las tierras de regadío (UN-Water, 2013).

En distintas regiones, se pueden encontrar ejemplos de utilización de aguas de reúso para riego y en la agricultura.

- En Victoria, Australia, el agua de reúso se utiliza para el riego de viñedos, tomates, papas y otros cultivos, además de la irrigación de jardines (EPA, 2012).



Fotografía Fundación Chile

**“Se calcula que a nivel mundial 20 millones de hectáreas se abastecen de aguas residuales tratadas, equivalentes a un 7% de las tierras de regadío”**



**UN-Water, 2013.**



Fotografía Fundación Chile

- Los árboles de cítricos, olivos y cultivos forrajeros utilizan aproximadamente el 90% del agua de reúso disponible en Chipre (EPA, 2012).
- En Israel y Perú, se están aplicando humedales verticales para el riego de jardines y árboles frutales en sistemas de tratamiento descentralizados (EPA, 2012).
- En Ciudad de México, se usan aproximadamente 2 m<sup>3</sup>/s de agua de reúso en agricultura, riego de áreas verdes y recarga de lagos recreacionales (EPA, 2012).
- En Jordania, predomina el riego de cultivos de forraje, con aplicación para el riego de palmeras y aceitunas (EPA, 2012).
- En Israel, durante el 2005, se registraba un reúso de 350 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales 216 millones de metros cúbicos de agua fueron entregados al sector agrícola.
- En California (2009), se reusaron aproximadamente 82,5 millones de m<sup>3</sup> al año, destinando un 37% de esta agua de reúso a la agricultura y un 17% al riego de áreas verdes (EPA, 2012).

## REÚSO URBANO E INDUSTRIAL

Luego de la agricultura, son los sectores urbano e industrial los de mayor consumo de agua, concentrando el 15% de los recursos hídricos, lo que genera un gran volumen de aguas residuales descargadas en estos ámbitos.

Aproximadamente un 19% de las aguas residuales globales con tratamiento terciario se reutilizan en el sector industrial, mientras un 8% se destina a usos urbanos no potables y un 8% para reúso potable indirecto (EPA, 2012).

Al igual que en el caso de la agricultura, hay numerosas experiencias destacadas en el mundo.

- El proyecto “NEWater” en Singapur proporciona agua de reúso de alta calidad con estándares de agua potable. Durante 2012, la capacidad total de las industrias de NEWater fue de 554.600 m<sup>3</sup>/día, con una proyección para el 2020 de 873.000 m<sup>3</sup>/día (Seah & Woo, 2012). Actualmente NEWater cubre aproximadamente un tercio de la demanda del país y se proyecta que para el 2060 aumente a la mitad de la demanda total
- En Durban, Sudáfrica, se producen aproximadamente 47.000 m<sup>3</sup>/día para el reúso en aplicaciones industriales, cumpliendo con los estándares de calidad de 32 parámetros reglamentarios (Bhagwan, 2012). Mondi utiliza agua de reúso para la producción de papel fino y es extremadamente sensible a la calidad del agua procesada por su impacto en el brillo de papel.



Fotografía Fundación Chile

“En Sídney, Australia, existen innovadoras prácticas para la conservación del recurso hídrico, como las que se realizan en el edificio “Bligh Street”. La torre de 29 pisos captura el 100% de sus aguas residuales para reutilizarlas en la edificación”.



*Fisher, 2012.*





Fotografía Fundación Chile

- En Sídney, Australia, existen innovadoras prácticas para la conservación del recurso hídrico, por ejemplo el “Bligh Street”. Desde el 2011, esta torre de 29 pisos captura aproximadamente el 100% de sus aguas residuales para reutilizarlas en el edificio. La planta de tratamiento está ubicada en la sala de mantención y trata aproximadamente 100m<sup>3</sup>/día. El agua de reúso recibe un tratamiento adicional de osmosis inversa para remover las sales y luego se utiliza en torres de enfriamiento (Fisher, 2012)
  - En Filipinas, el agua de reúso desde un mercado público se utiliza para inodoros, limpieza de calles y para riego de plantas (EPA, 2012).
  - En España, se utiliza el agua de reúso en el riego tradicional y limpieza de calles (EPA, 2012).
- Una amplia variedad de industrias, incluyendo lavanderías comerciales, establecimientos de lavado de vehículos, industrias de papel, de producción de acero, textiles, alimentación de calderas, procesamiento de carne, fábricas de cerveza y de bebidas, y plantas de energía, tienen la capacidad de utilizar agua de reúso en sus operaciones (Jiménez & Asano, 2008).

## RECARGA DE ACUÍFEROS

Los acuíferos son formaciones geológicas subterráneas que normalmente se llenan o recargan con agua proveniente de las lluvias o del derretimiento de las nieves. El agua continúa fluyendo en forma descendente hasta que alcanza formaciones rocosas menos permeables y donde queda acumulada. El bombeo excesivo de agua de un acuífero antes de que pueda llenarse en forma natural, puede provocar el agotamiento del agua subterránea, y como consecuencia de ello los pozos que dependen del acuífero pueden quedarse secos (RWL, 2015)

La recarga de acuíferos es una práctica que se realiza a nivel global (Jiménez & Asano, 2008). Se reportan casos de recarga de los acuíferos en Israel, África del Sur, Alemania, Bélgica, Australia, Namibia, India, Italia, México, China, Barbados y Chipre (EPA, 2012). La recarga potable indirecta, después de un tratamiento avanzado, se ha implementado en Estados Unidos.

En Denver, Colorado, están estudiando esta alternativa como una medida de prevención ante episodios de sequía. En este contexto Bob Peters, ingeniero de recursos de Denver Water, le explicó a Fox News: "La sequía está siempre en el horizonte. Nosotros disponemos de solamente 15 pies de lluvias por año aquí en Denver, y la mayor parte de nuestra agua proviene del deshielo de las montañas. El agua subterránea de la cuenca de Denver no es renovable; es decir, si se la bombea

hacia afuera del acuífero, se perderá. De lo que estamos hablando es de tomar nuestros suministros renovables de agua y de inyectarlos dentro del acuífero para mantenerlo lleno".

Así, la recarga con agua de reúso ofrece, además de la posibilidad de almacenamiento en el subsuelo, poder otorgar un tratamiento adicional a las aguas residuales tratadas, el almacenamiento para su posterior reutilización en riego agrícola, uso industrial u otros, así como prevenir la intrusión de agua salada en el suministro de aguas subterráneas en las zonas costeras (EPA, 2012).



Fotografía Fundación Chile



**“Chile ha alcanzado niveles de cobertura en el tratamiento de las aguas residuales cercanos al 99% en sectores urbanos, ubicándolo a la altura de países desarrollados en la materia, contando con 283 sistemas de tratamiento de aguas residuales autorizados y monitoreados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), a lo largo del territorio nacional”.**

**ANDESS, 2008, SISS, 2014.**

## REÚSO EN CHILE: UN DESARROLLO PENDIENTE

La experiencia nacional en el ámbito del reúso de las aguas residuales es escasa. Hasta la década de los 80, casi la totalidad de los sistemas de depuración de aguas residuales eran a través de lagunas de tratamiento (Cortez, 2003).

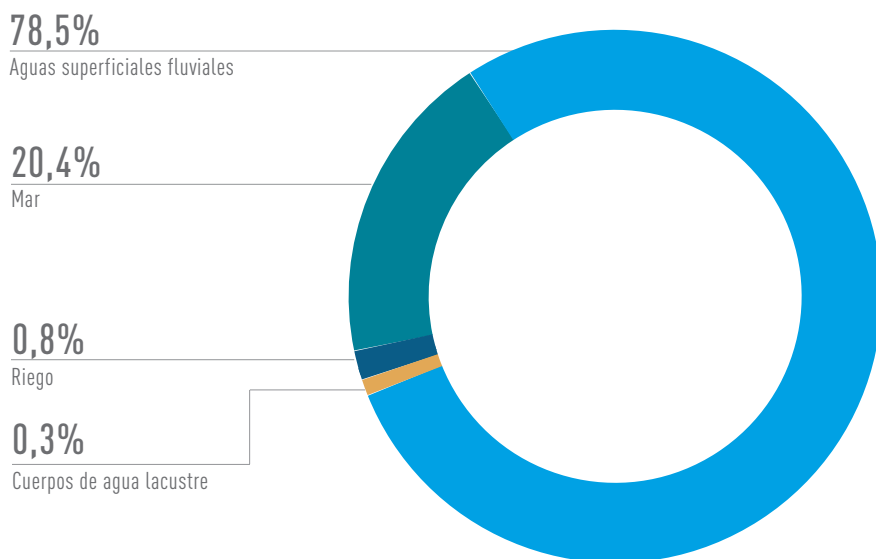
A comienzos de los 90, se inició de forma preliminar la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAS). Este proceso fue acelerándose desde el año 2000, con la publicación de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (Decreto 90/01, ID 182637, Ministerio Secretaría Regional de la Presidencia), debido al sostenido aumento de las enfermedades gastrointestinales y entéricas asociadas al vertido de aguas residuales a los cauces superficiales, lo que –por ejemplo– desencadenó un brote de cólera en 1991 (ECONSSA-b, 2010).

Estudios realizados durante el año 2004 exponían que el 66% de la población descargaba sus aguas residuales en sistemas que contaban con tratamiento, dentro de los cuales se incluían los emisarios submarinos, los cuales vertían aproximadamente el 15% de las aguas residuales generadas en el país. Esto representó un notable avance con respecto a las prácticas que se llevaban a cabo en años anteriores (Baraño, 2004).



**FIGURA 2.**  
DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES POST  
TRATAMIENTO

(Fuente: SISS, 1999)



En la actualidad, Chile ha alcanzado niveles de cobertura en el tratamiento de las aguas residuales cercanos al 99% en sectores urbanos, ubicándolo a la altura de países desarrollados en la materia, contando con 283 sistemas de tratamiento de aguas residuales autorizados y monitoreados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2014), a lo largo del territorio nacional (ANDESS, 2008) (SISS, 2014). Sin embargo, la cifra de déficit de alcantarillado sanitario en sectores rurales alcanza aproximadamente el 53%.

Cabe señalar que las diferentes tecnologías de tratamiento utilizadas varían en relación a la diversidad de climas y características que poseen las diferentes localidades en Chile. Es así como en el norte del país es común encontrar plantas que utilizan lagunas como sistemas de tratamiento secundario, mientras que en el extremo sur el 100% de las plantas usan tecnología de lodos activados. Sin embargo, tecnologías que son comúnmente aplicadas en otras partes del mundo aún no son aplicadas en

**TABLA 1.**  
COSTOS DE INVERSIÓN EN TRATAMIENTO DE RILES POR SECTOR

(Fuente: SISS, 1999)

Rubro	Costo de tratamiento estimado por sector (US\$)	Costo de tratamiento estimado por empresa tipo (US\$)
Agricultura, caza, silvicultura y pesca	29.790.142	782.179
Explotación de minas y canteras	30.535.296	803.930
Industrias manufactureras	902.001.154	579.214
Electricidad, gas y agua	1.401.539	57.985
Transporte, almacenamiento y comunicación	S/D	S/D
Comercio al por mayor y al por menor, restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas	S/D	S/D
Establecimientos financieros, seguros, bienes inmuebles y servicios técnicos, profesionales y otros	S/D	S/D
Servicios comunales sociales y personales	6.342.957	122.464

Chile, como la incorporación de membranas para tratamientos secundarios y otros tratamientos más avanzados (Baraňao, 2004).

Un punto fundamental para implementar procesos de tratamiento es el costo asociado, ítem que fue estudiado por la SISS para los Residuos Industriales Líquidos (RILEs) por parte de los diferentes sectores productivos. Se estimó la inversión que tendrían que hacer las empresas para alcanzar el 100% de cobertura para el tratamiento de sus aguas contaminadas (SISS, 1999).

El análisis de la Tabla 1 muestra que el sector que mayor esfuerzo de inversión tendría que hacer para el tratamiento de sus residuos es la

industria manufacturera, debido principalmente a la mayor cantidad de empresas con las que cuenta. Desde el punto de vista de la inversión promedio, el sector minero tendría que implementar los sistemas más costosos, lo que se atribuye al tipo de residuos que ellos eliminan y a los costos asociados a su tratamiento de forma específica.

Un avance en el sector minero se llevó a cabo en Antofagasta (2010-2012) a partir del estudio "Desarrollo de tecnología para la producción de agua con calidad industrial en minería metálica a partir de agua con calidad secundaria", proyecto FIC Regional, a cargo del Centro de Investigación Tecnológica del Agua en el Desierto (CEITSAZA) y la Universidad Católica

del Norte. El objetivo –y logro– de este proyecto fue desarrollar tecnologías para transformar el agua con calidad secundaria en agua industrial apta para su uso en minería metálica.

Uno de los impactos sociales de este proyecto fue que se generó una mayor disponibilidad de agua superficial y subterránea para la comunidad, dado el uso de una fuente de agua alternativa, además de disminuir las descargas de aguas residuales a cuerpos de aguas naturales, contribuyendo de esta forma en evitar la contaminación del medio ambiente. Para el sector privado, los beneficios fueron proveer información para seleccionar la óptima fuente de agua de uso minero-industrial, la transferencia tecnológica para el uso de agua con calidad secundaria, además de diversificar las fuentes de agua con las cuales contaba la minería metálica en la Región de Antofagasta.

Otro caso de uso de agua residual como una nueva fuente de agua se desarrolló en la región de Atacama, por parte de la empresa sanitaria Aguas Chañar. La situación crítica de esta región en cuanto a disponibilidad del recurso hídrico, impulsó a esta empresa, en 2008, a concretar la venta de aguas residuales tratadas a la minera Candelaria. Estas aguas fueron transportadas, a través de acueductos, desde la cota 365 msnm –donde se emplaza la planta de tratamiento sanitaria Aguas Chañar– hasta la cota 760 msnm, a un estanque de acumulación de agua de proceso de la Compañía Minera Candelaria, a un caudal de 175 L/s.

Más allá de los destacables casos de ECONSSA en Antofagasta y Aguas Chañar en Atacama, la actividad de reúso en Chile es muy escasa, a pesar de la ya comentada amplia cobertura de las plantas de tratamiento. Para un desarrollo en esta materia, se requiere –tal como ha ocurrido en la experiencia internacional– crear un entorno propicio con el apoyo de políticas públicas para el uso de fuentes de agua no convencionales. También se necesita implementar tecnologías de tratamiento avanzado para alcanzar un alto estándar de calidad y asegurar la aceptación de la comunidad, venciendo las desconfianzas.

Esto último cobra mayor relevancia al considerar que la generación de aguas residuales aumentará con el crecimiento de la población, lo que, sumado al aumento de cobertura por redes de alcantarillado, constituye un gran potencial para la expansión en la reutilización de aguas residuales tratadas globales.



Fotografía Fundación Chile

## LA IMPORTANCIA DE UNA NORMATIVA

Algo que caracteriza a los países que han desarrollado el reúso como una nueva fuente de agua, es la presencia de esta temática en sus agendas hídricas, apoyadas en la existencia de una normativa que la fomenta y establece estándares adecuados para su implementación.

Latinoamérica en este aspecto está lejos de Israel, Singapur, Estados Unidos y Australia, países con alta tasa de reúso, donde el Estado desempeñó un rol clave en la habilitación de los proyectos.

Chile no se desmarca de la realidad regional. Si bien la normativa nacional no restringe el reúso en su totalidad, tampoco lo fomenta, ya que no hay una institucionalidad clara para los procesos de reutilización.

Esto se comprobó después de analizar el marco regulatorio vinculado al reúso de aguas residuales tratadas, la institucionalidad, las leyes y decretos involucrados, información solicitada vía ley de transparencia a los organismos competentes.

Este estudio fue realizado por Krisol-Eirl e incluyó una recopilación del marco regulatorio nacional que potencialmente tendría relación con el reúso de aguas residuales tratadas. Para lo anterior, se revisó la institucionalidad, leyes y decretos involucrados en los ámbitos urbanos y rurales.

### >>> Las aguas residuales disponibles

para ser tratadas, podrían eventualmente ser reutilizadas, dado que los servicios sanitarios de producción y distribución de agua potable y recolección y disposición de las aguas residuales, no poseen regulación expresa respecto del titular del dominio de las aguas residuales una vez que han sido tratadas.

**ANDESS, 2008, SISS, 2014.**

El análisis de los resultados desarrollados por FCh, en el marco del “Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales tratadas en la región de Valparaíso”, indica que la normativa vigente NO regula específicamente el reúso de aguas residuales tratadas, encontrando oportunidades de implementar sistemas de reúso en emisarios submarinos y plantas de tratamiento de aguas servidas rurales. Para el caso de las PTAS urbanas, los múltiples actores involucrados en un proceso de reúso, poseen interpretaciones legales diferentes, por lo cual el análisis respecto del potencial reúso de estas aguas no es concluyente. Por lo anterior, para avanzar en la implementación del reúso en Chile, este aspecto debe ser revisado con los diferentes actores involucrados.

Actualmente se está tramitando el “Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises”. Las aguas grises representan menos del 30% de las aguas residuales disponibles para reúso y son distintas a las aguas residuales. Se recomienda no utilizar el futuro reglamento de aguas grises para la evaluación del reúso de aguas residuales, dado que el actual proyecto de aguas grises posee algunas restricciones que podrían entorpecer la implementación del reúso de aguas residuales tratadas a nivel nacional.

El dictamen de Contraloría N°35169, año 2013, menciona que “la normativa sectorial que rige los servicios sanitarios de producción y distribución de agua potable, recolección y disposición de aguas servidas, no contiene regulación expresa respecto del titular del dominio de las aguas servidas una vez que han sido tratadas, de manera que esa titularidad ha de ser determinada conforme a los preceptos legales del derecho común”. Es necesario determinar en Chile la titularidad de las aguas descargadas y disponibles para reúso, así como definir las reglas del juego para su adecuada implementación y usos futuros.

Durante la ejecución del proyecto FIC “Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales tratadas en la región de Valparaíso”, gran parte del Comité Técnico concuerda en la necesidad de contar con una política y regulación específica para el reúso de aguas residuales tratadas en Chile. Es urgente co-construir un adecuado modelo de negocio para Chile, con participación de los diversos actores competentes (públicos, privados y ciudadanos), con el fin de definir las condiciones que generen mayores beneficios para la sustentabilidad, seguridad hídrica y desarrollo, en los territorios que presentan riesgo hídrico, considerando a los diferentes usuarios del agua.





# CAPÍTULO 3

## ESCENARIOS PARA EL REÚSO EN LA V REGIÓN





Fotografía Fundación Chile

## El caudal descargado por emisarios **AGUA RESIDUAL QUE HOY SE PIERDE**

submarinos en la región de Valparaíso  
(2,6 m<sup>3</sup>/s) alcanza para regar 27.300  
hectáreas de uva de mesa o 10.250  
hectáreas de paltos en la región.

Emisarios submarinos. Ahí está la clave para las posibilidades de desarrollar el sistema en la región de Valparaíso. Se trata de la zona de Chile que posee la mayor cantidad de aguas residuales disponibles en emisarios submarinos para reúso en Chile. Una descarga que actualmente se va al mar.

Podría tener otro destino y contribuir a paliar la escasez hídrica, en una zona que aún no se repone de las sequías de años anteriores, y que tiene en el horizonte seguir percibiendo los efectos del cambio climático.

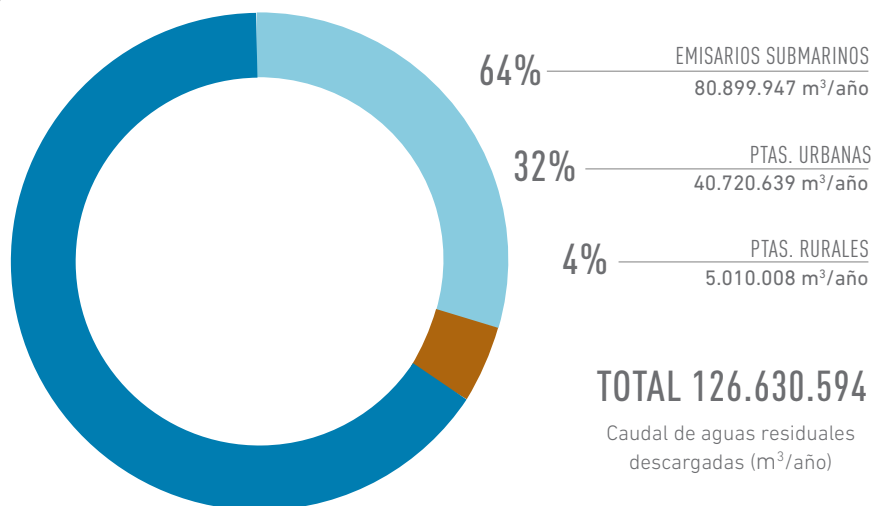
En concreto, y para dimensionar el impacto que este tendría, el caudal descargado por emisarios submarinos en la región de Valparaíso (2,6 m<sup>3</sup>/s) alcanzaría para regar 27.300 hectáreas de uva de mesa o 10.250 hectáreas de paltos en la región, con un ingreso anual de **1.146 MMUSD o 885 MMUSD**, respectivamente.

No se incluyeron en este Diagnóstico las PTAS urbanas y rurales, dado que sus aguas en general



**FIGURA 3.**  
COMPOSICIÓN DE LA OFERTA DE AGUAS RESIDUALES  
EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

(Fuente: ESVAL, 2014)

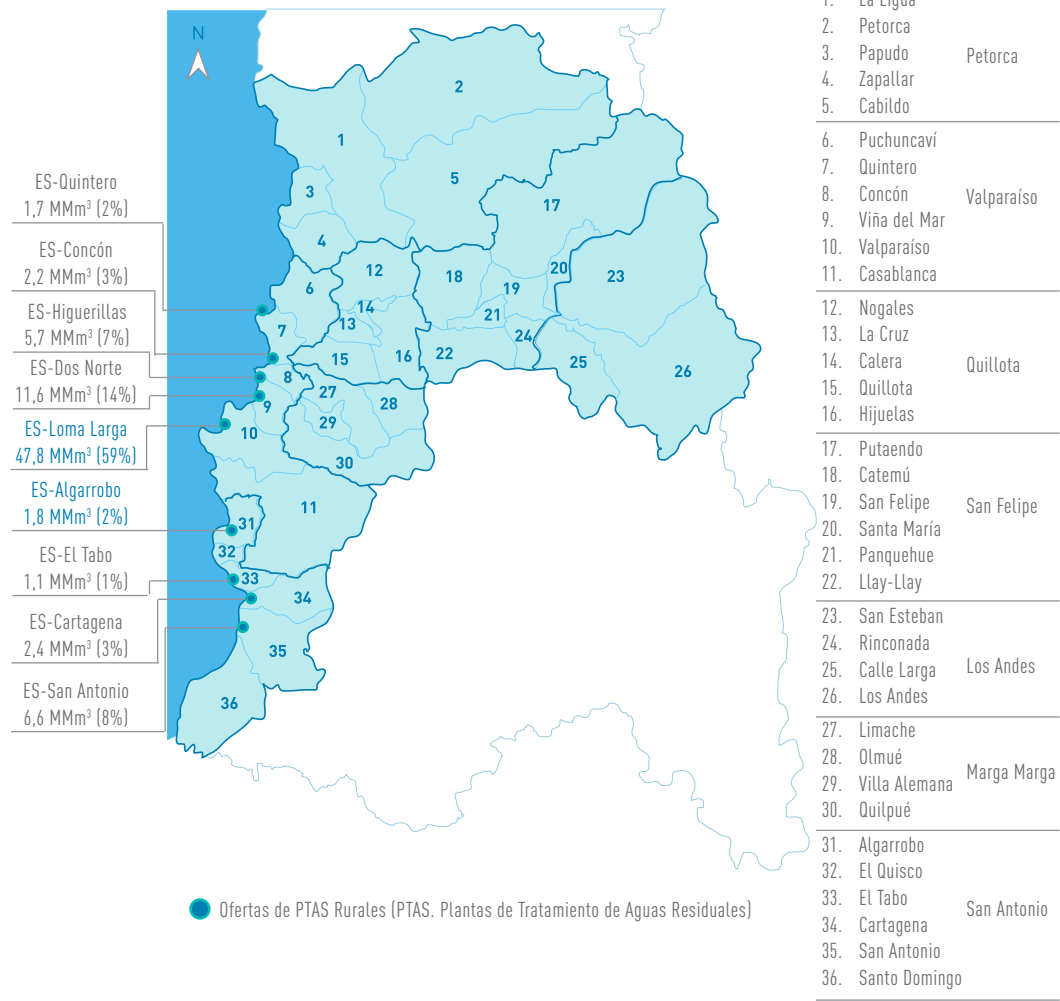


son utilizadas aguas abajo posterior a su descarga, a diferencia de las descargas al mar. Por otra parte los emisarios son los que descargan aguas residuales en mayor proporción en la región, abarcando el 64% de las aguas residuales. Las PTAS urbanas concentran un 32% y las rurales sólo aportan un 4%.

Son 9 los emisarios submarinos en operación que descargan directamente al mar. El volumen aproximado de agua descargada por estos en el año 2014 superó los 80 millones de m³ (SISS, ESVAL, 2015), siendo los que tienen mayor incidencia los emisarios de Loma Larga (59%) y Dos Norte (15%), ambos ubicados en la zona centro de la región.

FIGURA 4.  
UBICACIÓN DE EMISARIOS SUBMARINOS EN  
LA REGIÓN DE VALPARAISO

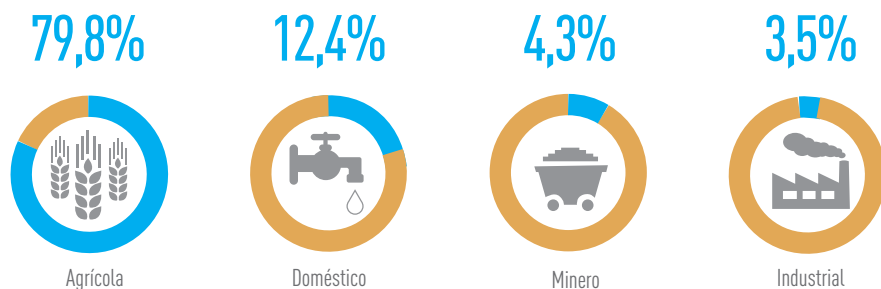
(Fuente: ESVAL, 2014)



**FIGURA 5.**

**DESGLOSE DEL PORCENTAJE DE CONSUMO DE AGUA DE LOS PRINCIPALES SECTORES PRODUCTIVOS DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO**

(FUENTE: MINAGRI, 2013; MOP, 2007 A; MOP, 2013 B)



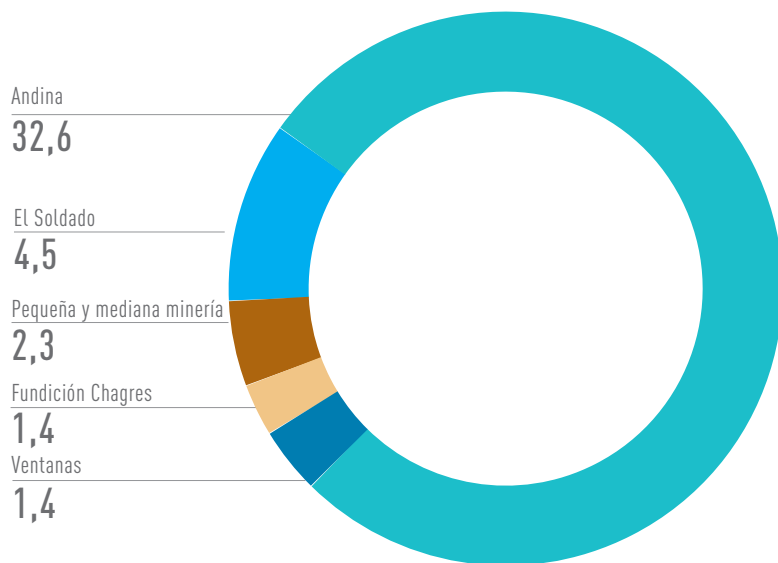
El volumen de descarga irá creciendo, junto con las necesidades hídricas tanto de la población como de los sectores productivos de la región. Actualmente es la agricultura la gran “esponja” regional, concentrando el 79,8% de la demanda hídrica. Le siguen el abastecimiento de agua potable para la población (12,4%), las extracciones mineras (4,3%) y las industrias ubicadas en la región (3,5%). Figura 5.

Al ver el consumo, se puede apreciar el gran protagonismo de la agricultura en la región. ¿Qué hay adentro de esta fuerte demanda por agua? Fundamentalmente frutales y plantas forrajeras, con un alto consumo hídrico. Los paltos, por ejemplo, acá tienen más del 50% de la superficie nacional dedicada a este cultivo, y son uno de los productos estrella de la zona, en particular la variedad Hass, presente principalmente en las comunas de Cabildo, La Ligua, Petorca, Hijuelas, La Calera, La Cruz, Nogales, Quillota y Llay Llay (MOP, 2007 a).

En el caso del consumo de la población (sector doméstico), que supera los 92 millones de m<sup>3</sup> de agua (SISS, ESVAL, 2015, calculado para el año 2014), este se concentra en las zonas urbanas. Aquí son las comunas de Viña del Mar (18%), Valparaíso (16%), Quilpué (9%) y Villa Alemana (8%), las que lideran el uso de agua. La gran pregunta es cuánto crecerá esta demanda, y la respuesta –considerando las proyecciones en base al crecimiento poblacional– es que debiera aumentar un 6% para el 2020. Para el 2030, se espera un incremento de clientes de 33%, una demanda para la que habrá que prepararse.

**FIGURA 6.**  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA FRESCA EXTRAÍDA POR LAS PRINCIPALES  
FAENAS MINERAS EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO (MM<sup>3</sup>/AÑO)

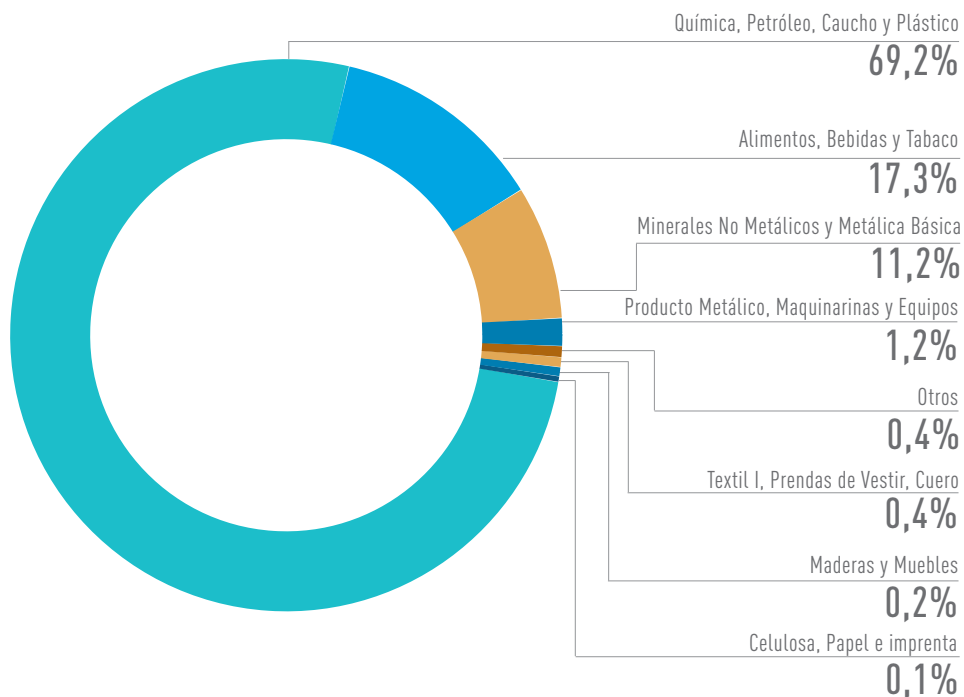
(FUENTE: ANGLOAMERICAN, 2013; CODELCO, 2011A; CODELCO, 2011B)



La minería, con un 4,5% de la demanda (focalizada en 4 faenas), hoy no tiene una gran incidencia, pero se estima que la Región de Valparaíso es una de las que tendrá un mayor aumento a nivel nacional en necesidades hídricas para faenas mineras. Así, para el año 2025, se espera un crecimiento del 66,2% con respecto al año 2014 (COCHILCO, 2014). Este incremento se vincula a los proyectos calendarizados, así como a la tendencia decreciente en las leyes de los concentrados, lo que hace necesario procesar mayor cantidad de mineral para obtener una tonelada de cobre fino.

**FIGURA 7.**  
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL USO DE AGUA POR LOS DIFERENTES  
SECTORES INDUSTRIALES DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

(FUENTE: INE 2013)



Para el sector industrial, con el 2,4% del consumo, el gran reto está en la división Química, Petróleo, Caucho y Plástico, que hoy tiene casi el 70% del uso de agua para la industria, aunque se trata de un área menor, que representa sólo el 15% de las factorías regionales. Esto puede deberse a un uso ineficiente del recurso y a la alta demanda hídrica de los productos manufacturados por estas empresas.



Fotografía Fundación Chile



### Si se utilizara riego por goteo

en todos los cultivos de la región, se podría ahorrar un 34% de agua, lo que permitiría dejar recursos hídricos disponibles tanto para los cultivos existentes, como para la expansión de estos, u otros usos.

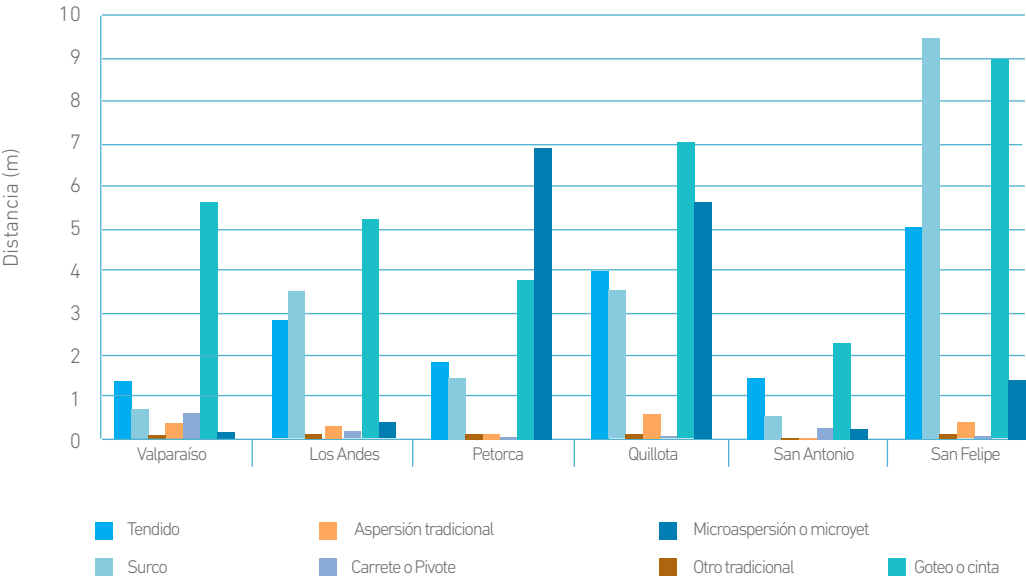
Buscando un diagnóstico más completo de la actual demanda y la forma en que se está gestionando el agua disponible, se utilizó la herramienta de Huella Hídrica (HH) (ver recuadro), además de analizar las ineficiencias que hay sobre todo en el sector agrícola, tanto por el tipo de cultivo como por las tecnologías de riego aplicadas. Si bien la región es una de las más tecnificadas a nivel nacional, incorporando microriego, cultivos en terrazas e incluso avances en biotecnología, todavía hay grandes superficies que siguen utilizando el riego por tendido y por surco.

En función del agua requerida por cada una de las comunas, en base a los cultivos que ellas presentan (cálculo de HH azul), y cruzando esta información con las tecnologías de riego existentes en la zona, se puede llegar a un cálculo más acertado del consumo para el sector agrícola, alcanzando un total de aproximadamente 751 millones de metros cúbicos al año.

¿Qué pasaría si el total de la superficie cultivada de la región utilizara riego por goteo? La necesidad de agua anual para la agricultura disminuiría a 497 millones de metros cúbicos de agua por año. Esto significa un ahorro de un 34% de agua, lo que permitiría dejar recursos hídricos disponibles tanto para los cultivos existentes, como para la expansión de estos u otros usos. Algo que puede tener un impacto muy favorable en lo económico, dado que la demanda por alimentos seguirá creciendo en el mundo.



**FIGURA 8.**  
**SUPERFICIE REGADA POR LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE RIEGO EN LAS**  
**PROVINCIAS DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO**  
*(FUENTE: INE, 2007)*



## RECUADRO 1

### HUELLA HÍDRICA: “BIOMETRÍA” DEL CONSUMO Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La determinación de la Huella Hídrica (HH) se fundamenta en los conceptos y metodologías desarrolladas por Water Footprint Network. Esta se basa en cuantificar el agua consumida y contaminada por las principales actividades o sectores productivos en la región, vinculándolos al espacio geográfico donde se están desarrollando.

**Para evaluar este consumo, se calculan las tres Huellas Hídricas: verde, azul y gris.**

En la región, La HH verde está en un 100% determinada por el sector silvoagropecuario, ya que por su definición es el único sector que recibe aportes de aguas lluvias.

La HH azul se encuentra en un 95% compuesta por el sector silvoagropecuario, 3,6 % por el minero, 2,9 % corresponde al doméstico y el restante 0,1% por el sector industrial.

La HH Gris, que equivale al volumen de agua que se necesita para diluir el principal contaminante que generan –en este caso– los sectores productivos de la región, se encuentra en un 92,3 % determinado por el sector doméstico, debido principalmente a la carga contaminante que debe tratarse en las PTAS. El 7,7 % restante se distribuye entre los sectores silvoagropecuario (4,2 %) e industrial (3,5 %).

### HUELLA AZUL DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

(Fuente: FCH, 2015)

Sector Silvoagropecuario

93,5%

Sector Minero

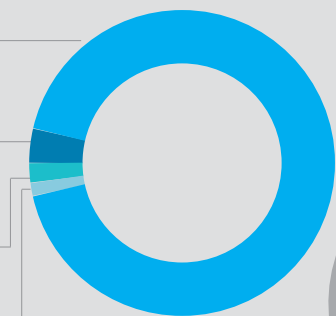
3,6%

Sector Doméstico

2,9%

Sector Industrial

0,1%



### HUELLA GRIS DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

(Fuente: FCH, 2015)

Sector Doméstico

92,3%

Sector Silvoagropecuario

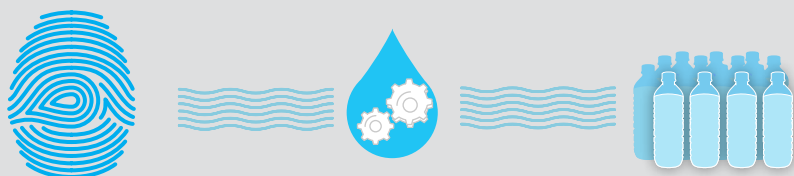
4,2%

Sector Industrial

3,5%

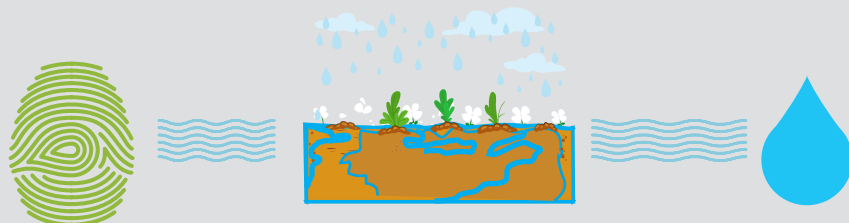


## HUELLA HÍDRICA AZUL



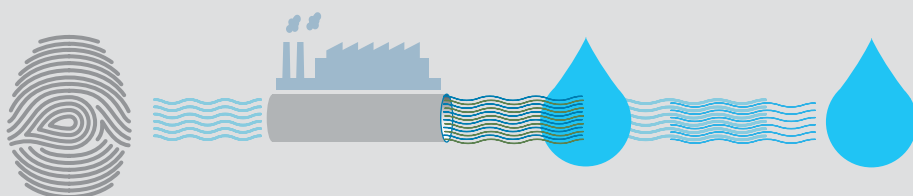
Volumen de agua consumido por incorporación o evaporación en un producto evaluado.

## HUELLA HÍDRICA VERDE



Volumen de agua lluvia que se incorpora en la capa de vegetación.

## HUELLA HÍDRICA GRIS

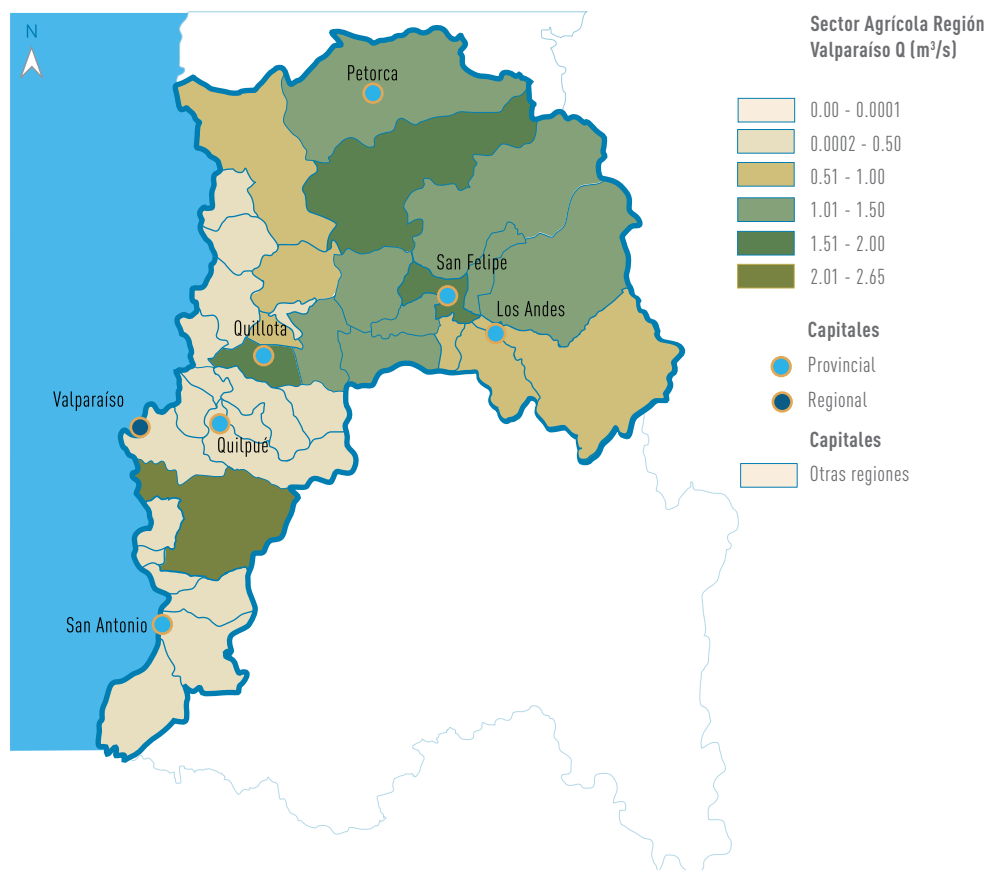


Volumen de agua necesaria para llevar la contaminación producida por un efluente a estándares de calidad ambiental establecidas por la norma.

Fuente: Manual para la evaluación de la Huella Hídrica. WFN

**FIGURA 9.**  
HUELLA HÍDRICA REGIONAL DEL SECTOR AGRÍCOLA

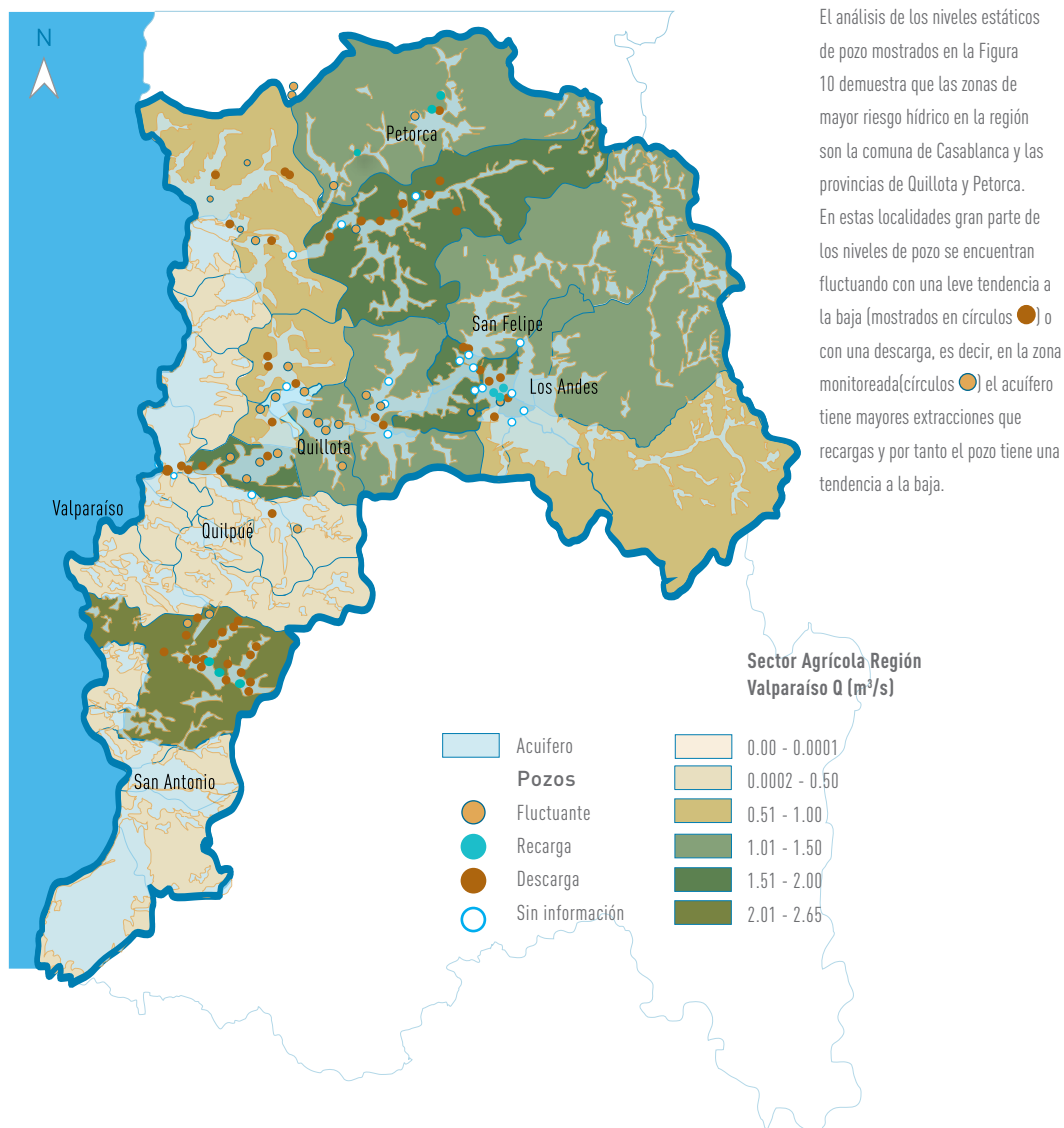
(FUENTE: FCH, 2015)

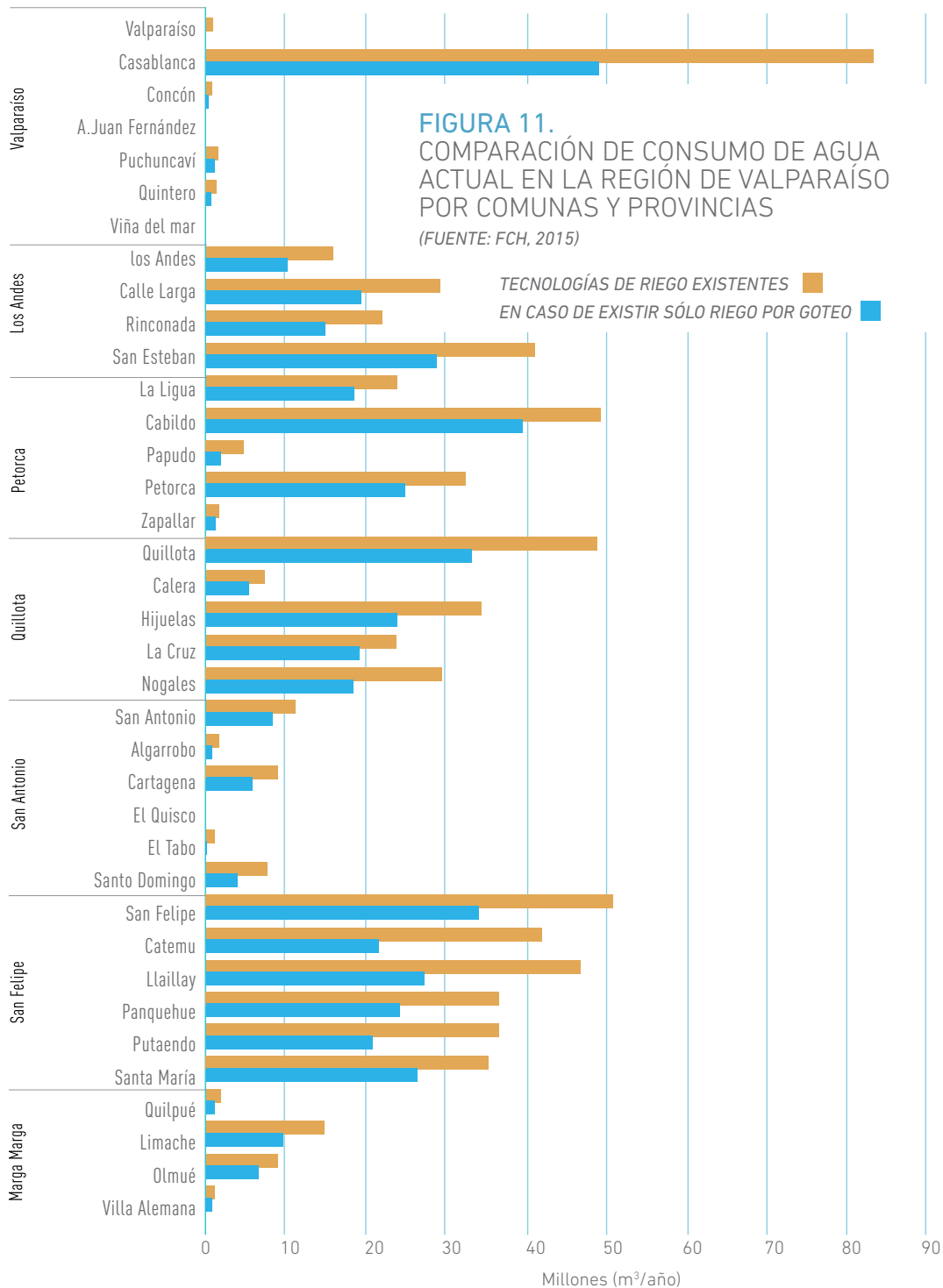


**FIGURA 10.**

**MAPA DE LAS ZONAS DE MAYOR CONSUMO DE AGUA POR EL SECTOR AGRÍCOLA JUNTO CON EL ANÁLISIS DE POZOS Y ACUÍFEROS PARA LA REGIÓN DE VALPARAÍSO**

(FUENTE: FCH, 2015)









Fotografía Fundación Chile

## MODELO PARA EL REÚSO

Sobre la base de que sí existe oferta suficiente de aguas residuales para potencialmente satisfacer parte de la demanda hídrica de la región, se elaboró un modelo conceptual para el reúso y distribución de las aguas, que es el que se aplicará a cada una de las zonas seleccionadas como “escenarios para el reúso”.

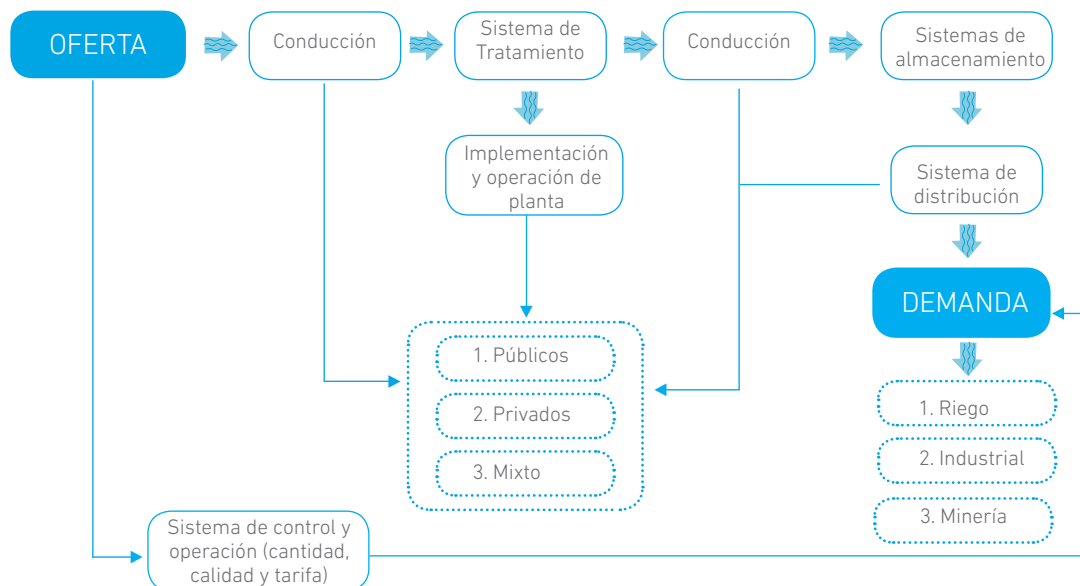
Este modelo representa los componentes que integran este sistema de reúso, partiendo por la fuente de estas aguas residuales (oferta), que en este caso estaría en los emisarios submarinos; su conducción, el tratamiento idóneo (calidad requerida), su conducción hacia el sistema de almacenamiento (embalses) y distribución final a los sectores que demandarán el agua de reúso. Figura 12

El modelo se aplicó en tres escenarios de reúso, establecidos en provincias que fueron seleccionadas de acuerdo a atributos sociopolíticos y atributos técnico-económicos. Valorizando esos aspectos, claves para un potencial desarrollo del reúso, se llegó a un Índice de Aplicabilidad, que arrojó que las zonas prioritarias para ser abastecidas son: Casablanca, Quillota y Petorca.



**FIGURA 12.**  
MODELO CONCEPTUAL DE REÚSO DE AGUAS RESIDUALES APLICABLE  
A LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

(FUENTE: FCH, 2015)





Fotografía Fundación Chile

Cada uno de los componentes de este modelo conceptual considera diferentes características e interacciones entre ellos, dependiendo del caso que se trate.

Dado que, como se ha señalado, la fuente estará en los emisarios submarinos, los que poseen sólo un acondicionamiento de las aguas, se necesitará un tratamiento adicional para lograr la calidad adecuada. Se contempla en este modelo, por tanto, la construcción e implementación de una PTAS.

El modelo se aplicó en tres escenarios de reúso, establecidos en provincias que fueron seleccionadas de acuerdo a atributos sociopolíticos (voluntad política, declaración de zona de escasez hídrica y capacidad de pago, ya sea pública o privada) y atributos

técnico-económicos (capacidad de acumulación, distancia desde fuente de aguas residuales a zona de abastecimiento, consumo de agua y zona de estrés hídrico). Valorizando esos aspectos, claves para un potencial desarrollo del reúso, se llegó a un Índice de Aplicabilidad, que arrojó que las zonas prioritarias para ser abastecidas de las aguas residuales de reúso son: Casablanca, Quillota y Petorca (para mayor información, consultar anexo "Determinación Índice de Aplicabilidad").





**Se estima que esta zona** puede estar afectada por un sobreconsumo de agua, donde la demanda supera la oferta, cuyos principales síntomas se manifiestan en que tres embalses de la comuna están secos desde el año 2010 y el cuarto sobrevive con aguas de napas subterráneas, explotadas cada vez a mayor profundidad.

### **CASO CASABLANCA: VOCACIÓN VINÍFERA**

Con una ruta del vino que ha alcanzado renombre mundial, el Valle de Casablanca se ha convertido en uno de los motores tanto del turismo enológico como de la industria vitivinícola nacional. Se dan en esa zona condiciones ideales para el cultivo de variedades tintas, como Pinot Noir, Syrah y Carménère, y de variedades blancas, como Sauvignon Blanc y Chardonnay.

Pero no todo es tan verde ni tan promisorio en materia de recursos hídricos. De ahí que, al interior de la Provincia de Valparaíso, se escogiera a la comuna de Casablanca como escenario para la implementación del reúso de aguas residuales tratadas.



Por de pronto, es la comuna que tiene el mayor consumo hídrico de la provincia (90%), destinado en su totalidad a riego.

Aunque cuenta con tecnología de riego más eficiente que otras provincias agrícolas, su vocación vinífera genera gran cantidad de hectáreas cultivadas con vid, que es una especie de alto consumo de agua (3.000 m<sup>3</sup>/Ha aprox.), representando cerca del 50% del total consumo comunal. Le siguen la avena, el trigo y la alfalfa, especies que también tienen una gran demanda de riego.

En cuanto a la oferta de aguas residuales, considerando sólo a los emisarios submarinos (ubicados a unos 65 kilómetros desde la comuna de Casablanca), podría abastecerse el 15,8% de la demanda hídrica de la provincia.

El sobreconsumo de agua sería uno de sus problemas actuales, algo que se manifiesta en que tres embalses de la comuna están secos desde el año 2010 y el cuarto sobrevive con aguas de napas subterráneas, explotadas cada vez a mayor profundidad. La demanda hídrica total de la comuna de Casablanca es 2,79 m<sup>3</sup>/s, que corresponde casi en su totalidad al sector agrícola.

Para la acumulación, la provincia de Valparaíso cuenta con 51 embalses, la mayoría ubicados justamente en la comuna de Casablanca (casi un 60%). Cuatro son los relevantes en relación a su capacidad de almacenamiento: Lo Ovalle, Los Perales de Tapihue, Lo Orozco y La Vinilla.

## PROPUESTA

La solución para el escenario de Casablanca contempla el uso de las aguas residuales descargadas de cuatro emisarios submarinos: Algarrobo, El Tabo, Cartagena y San Antonio. Como se ha señalado, el agua residual descargada requerirá de un tratamiento adicional al pre tratamiento actual. Para ello, se proyecta la construcción de una PTAS que permita procesar el volumen requerido.

Desde ese origen de las aguas residuales, ya tratadas en esta planta proyectada, serán conducidas por una tubería instalada en la franja adyacente de las carreteras consideradas en la ruta. El recorrido se extenderá por 87 kilómetros, llegando al Embalse Lo Ovalle, donde se acumulará el agua residual tratada. De ahí se distribuirá posteriormente a los potenciales usuarios.

Uno de los aspectos positivos de este escenario es que cuenta con infraestructura hidráulica suficiente ( $42 \text{ MMm}^3$ ) para la acumulación de los  $13,8 \text{ MMm}^3$  que se requiere contener por año. Figura 13.

## COSTOS Y FACTIBILIDAD

Más allá de la necesidad por una nueva fuente hídrica, son los costos de implementar el sistema los que determinarán que sea factible, en comparación también con otras alternativas, como la planta desaladora.

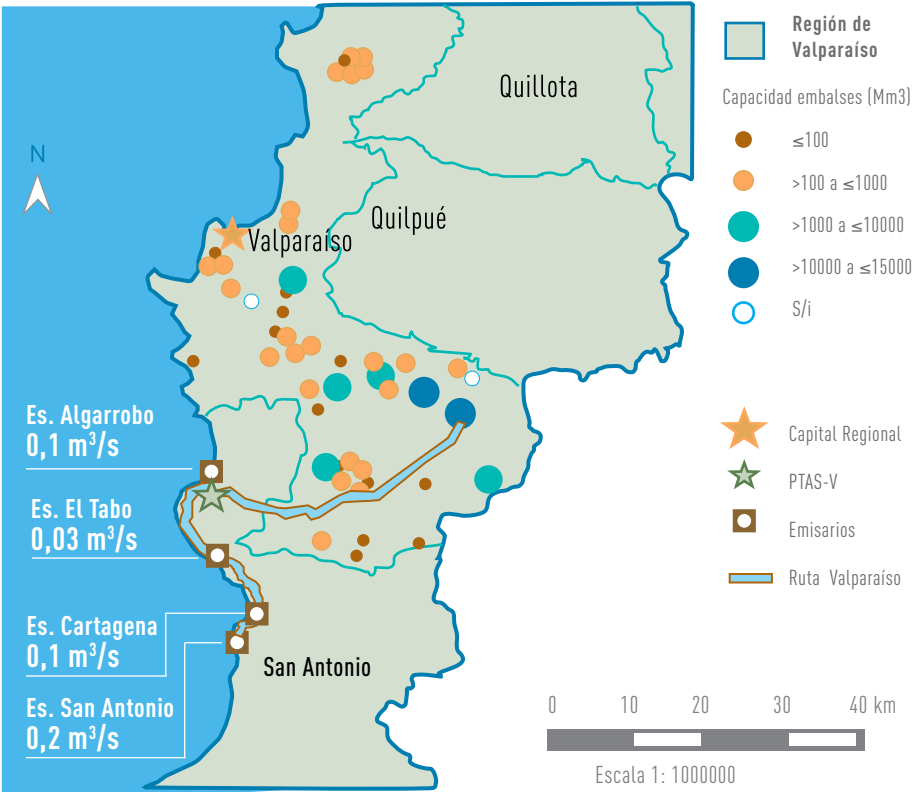
Para este escenario de Casablanca, y considerando una planta de tratamiento con un caudal de  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , y la conducción de 87 kms, el costo de inversión (CAPEX) es de 102,1 MM USD y el costo de operación (OPEX) se calcula en  $0,52 \text{ USD}/\text{m}^3$ . Por tanto, el costo de implementación considerando la inversión con un estimado de vida útil de 30 años y tasa de interés del 9,5%, es de  $1,5 \text{ USD}/\text{m}^3$  (alrededor de mil pesos por metro cúbico).

Aunque no se cuenta con información sobre el precio que pagan los vitivinícolas por el agua en época de escasez hídrica de la región los usuarios del agua, se sabe que en otras zonas los agricultores han llegado a desembolsar hasta 8 dólares, unos  $\$5.000/\text{m}^3$ .

En suma, tomando todos estos antecedentes, se comprueba que el costo de implementar un sistema de reúso de aguas residuales para la zona de Casablanca es razonable y competitivo.



**FIGURA 13.**  
**TRAZADO SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA EL ABASTECIMIENTO DE LA PROVINCIA DE CASABLANCA**  
 (FUENTE: FCH, 2015)



**CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN CASABLANCA**  
 (FUENTE: FCH, 2015)

Infraestructura de tratamiento	Distancia de distribución (Km)	Infraestructura de acumulación	Caudal provicional requerido (m³/s)	% de abastecimiento de agua de la demanda actual
PTAS de 0,44m³/s	87	Embalse Lo Ovalle (existencia de otros sistemas de acumulación)	2,79	15,8%



**El impacto de incluir** una nueva fuente de agua a este territorio podría traducirse en mantener o aumentar las superficies cultivadas, al entregar seguridad hídrica a la provincia.

### **CASO QUILLOTA: LA PALTA ES “REINA”**

Valle fértil desde tiempos inmemoriales, la provincia de Quillota es una de las que pone sobre las mesas chilenas un fruto que ya se anota en la lista de imprescindibles de cada hogar: la palta, y en particular, la variedad Hass.

No es el único, por cierto, pero su relevancia en términos de producción y el consumo intensivo de agua que tienen los paltos, lleva a nominar a este fruto como representante de un sector agrícola que concentra el 80% de la demanda hídrica de la provincia.

El consumo de la provincia alcanza los 4,53 m<sup>3</sup>/s, siendo las comunas de mayor demanda las de Quillota (34%), Hijuelas (24%) y Nogales (20%).



La complejidad de este escenario está dada tanto por el sobreconsumo como por el consecuente deterioro progresivo de las fuentes de agua subterránea. De ahí que haya sido declarada, desde 2013 a 2015, como zona de escasez hídrica.

Un agravante es que, a diferencia del escenario de Casablanca, acá parte importante de los cultivos son regados con tecnología de baja eficiencia.

Dada la escasez hídrica, muchos agricultores se han visto en la necesidad de comprar agua para la supervivencia de sus siembras. Para paliar esta situación, las autoridades locales han manifestado su apoyo a soluciones que contribuyan a aumentar la seguridad hídrica en esta provincia, lo que se complementa con la intención de pagar por el agua por parte de los usuarios potenciales.

En cuanto a la oferta disponible, las fuentes de aguas residuales más cercanas a la provincia de Quillota, son los emisarios submarinos de Quintero, Concón, Higuierillas y dos Norte, que se encuentran en la costa central de la región de Valparaíso. Considerando el volumen que generan estos emisarios submarinos (2,2 m<sup>3</sup>/s.), se podría llegar a abastecer el 48,5% de la demanda hídrica de la provincia.

Con respecto a la infraestructura de acumulación, según información recopilada por la DOH, existen 24 obras de agua para riego, aunque sólo se tiene información sobre la capacidad de almacenamiento de 12 embalses. Los principales son El Melón, Alto de Pucalán, Collague y Rautén Alto.

## PROPUESTA

La propuesta para este escenario contempla utilizar 1,1 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales descargadas vía emisarios submarinos, específicamente Loma Larga. Esta descarga necesitará de un tratamiento adicional al pre tratamiento actual, por lo que la solución proyecta la construcción de una PTAS para llegar a la calidad requerida.

Se requiere almacenar 34,6 MMm<sup>3</sup> por año de aguas residuales tratadas, pero la infraestructura de la provincia es mucho menor. Para suplir ese déficit, se considera utilizar la capacidad de almacenamiento del embalse Los Aromos, ubicado en la provincia vecina de Marga Marga.

Se propone entonces hacer un recorrido que parte en el emisario de Loma Larga y se extiende por 43 kilómetros, hasta llegar con las aguas tratadas al embalse Los Aromos, desde donde posteriormente se distribuirán las aguas a los potenciales usuarios.

La solución planteada permitiría abastecer de aguas residuales tratadas para riego a la provincia, supliendo cerca del 25% de su demanda hídrica.

## COSTOS Y FACTIBILIDAD

Para este escenario de Quillota, y considerando una planta de tratamiento con un caudal de 1,1 m<sup>3</sup>/s, y la conducción de 43 kms, el costo de inversión (CAPEX) es de 129,1 MM USD y el costo de operación (OPEX) se calcula en 0,42 USD/m<sup>3</sup>. Por tanto, el costo de implementación es de 0,9 USD/m<sup>3</sup> (alrededor de 600 pesos por metro cúbico) al considerar la amortización de la inversión con un estimado de vida útil de 30 años y tasa de interés del 9,5%.

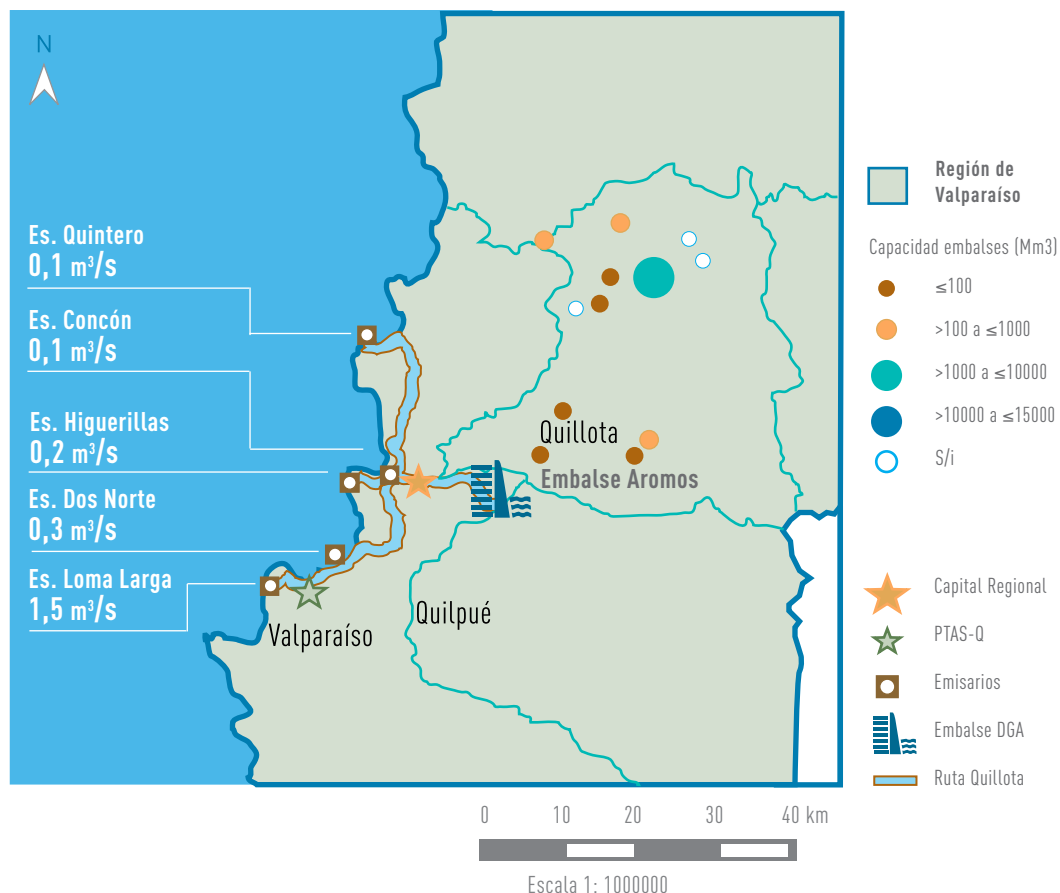
Actualmente, existen empresas en la zona que pagan USD 9,0 por m<sup>3</sup> (alrededor de \$5.900), y en general se aprecia interés de parte de los agricultores por evaluar un gasto a cambio de seguridad hídrica.

Considerando todos estos antecedentes, se comprueba que el costo de implementar un sistema de reúso de aguas residuales para la zona de Quillota es razonable y competitivo, por lo que posee una buena posibilidad de poder implementarse.

Mantener o aumentar las superficies cultivadas sería el impacto de tener una nueva fuente de agua en este territorio, además de ayudar a descomprimir la situación de estrés hídrico que afecta a la región de Valparaíso. Figura 14.

**FIGURA 14.**  
TRAZADO SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA EL ABASTECIMIENTO DE LA PROVINCIA DE QUILLOTA

(FUENTE: FCH, 2015)



## CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN QUILLOTA

(FUENTE: FCH, 2015)

	Infraestructura de tratamiento	Distancia de distribución (Km)	Infraestructura de acumulación	Caudal provicional requerido ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	% de abastecimiento de agua de la demanda actual
Escenario 1	PTAS de $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$	43	Embalse Los Aromos	4,53	24%



### Utilizando el caudal disponible

de aguas residuales, se podría suplir el 42,5% de la demanda hídrica del sector agrícola de la provincia.

### CASO PETORCA: REINVENCIÓN OBLIGADA

Pequeños agricultores de la Provincia de Petorca han hecho noticia por su “reinversión” (diario La Tercera). Cargando un pasado de “potencia frutícola exportadora”, según la nota de prensa, se cansaron de sacar árboles secos y están apostando por un cereal que aseguran que sólo requiere una mínima humedad para mantenerse: la quínoa.

Un giro que no es sino otro síntoma de la sequía que ha atacado con especial fuerza a Petorca en los últimos años, siendo declarada zona de escasez hídrica desde 2011 a la fecha.

Dejando aparte el factor climático, la principal causa de esta situación es el alto consumo de agua por parte del sector agrícola, el que se debe a la gran extensión de terrenos





Fotografía Fundación Chile

cultivados, los frutos predominantes en la zona (palta y cítricos), y además la baja eficiencia en tecnificación del riego.

A tal punto ha llegado el estrés hídrico, que se ha hablado de la “guerra del agua” (Chilevisión, El Mostrador, entre otros medios de prensa que lo cubrieron), por los reiterados conflictos entre los distintos usuarios del recurso. Es por ello que, desde el sector público, las autoridades locales han priorizado acciones que contribuyan a paliar esta situación, y desde el sector productivo, los agricultores están dispuestos a utilizar aguas residuales tratadas y a pagar por ellas.

Esta provincia concentra el 17% de la demanda hídrica total de agua para el sector agrícola de la región. Este porcentaje equivale a 3,53 m<sup>3</sup>/s, siendo las comunas de mayor consumo Cabildo (44%), Petorca (29%) y La Ligua (21%).

Aunque las fuentes de aguas residuales más cercanas a ella son las PTAS urbanas, debido a la utilización posterior –aguas abajo– de sus descargas, se recurrirá a la oferta de los emisarios submarinos, tal como en los otros escenarios. Al igual que en Quillota, se contempla utilizar las descargas del emisario de Loma Larga. Utilizando 1,1 m<sup>3</sup>/s del caudal total de este emisario se podría suplir el 31,2% de la demanda hídrica del sector agrícola de la provincia.

En cuanto a la infraestructura de acumulación, en la provincia hay 54 obras, pero sólo se dispone de información sobre la capacidad de 19 embalses. Los más relevantes son Chepical, Aguas Claras y La Laguna de Catapilco.

## PROPUESTA

El escenario de reúso seleccionado para la provincia de Petorca, considera utilizar  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$  de aguas residuales descargadas vía el emisario submarino de Loma Larga. Aquí también, por lo tanto, se necesitará un tratamiento adicional, lo que implica proyectar la construcción de una PTAS.

La solución propuesta requiere del almacenamiento de  $34,6 \text{ MMm}^3$  de aguas residuales tratadas. Como la infraestructura existente en la provincia es mucho menor, se considera utilizar el embalse Las Palmas, proyectado en el Plan de Grandes Embalses de la DOH. Una vez construido, este embalse tendría una capacidad total de  $55 \text{ MMm}^3$ .

El recorrido, entonces, partiría desde la descarga de Loma Larga, siguiendo una larga ruta que se extiende por 174 Km, hasta llegar al embalse Las Palmas, desde donde se redistribuirán las aguas residuales tratadas a los potenciales interesados. Figura 15.

## COSTOS Y FACTIBILIDAD

Para este escenario de Petorca, y considerando una planta de tratamiento con un caudal de  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , y una distancia recorrida de 175 Km, el costo de inversión (CAPEX) es de 356,2 MM USD y el costo de operación (OPEX) se calcula en  $0,68 \text{ USD}/\text{m}^3$ . Por tanto, el costo de implementación es de  $1,93 \text{ USD}/\text{m}^3$  (alrededor de 1.300 pesos por metro cúbico) al considerar la amortización de la inversión con un estimado de vida útil de 30 años y tasa de interés del 9,5%. La distancia en este caso encarece el sistema.

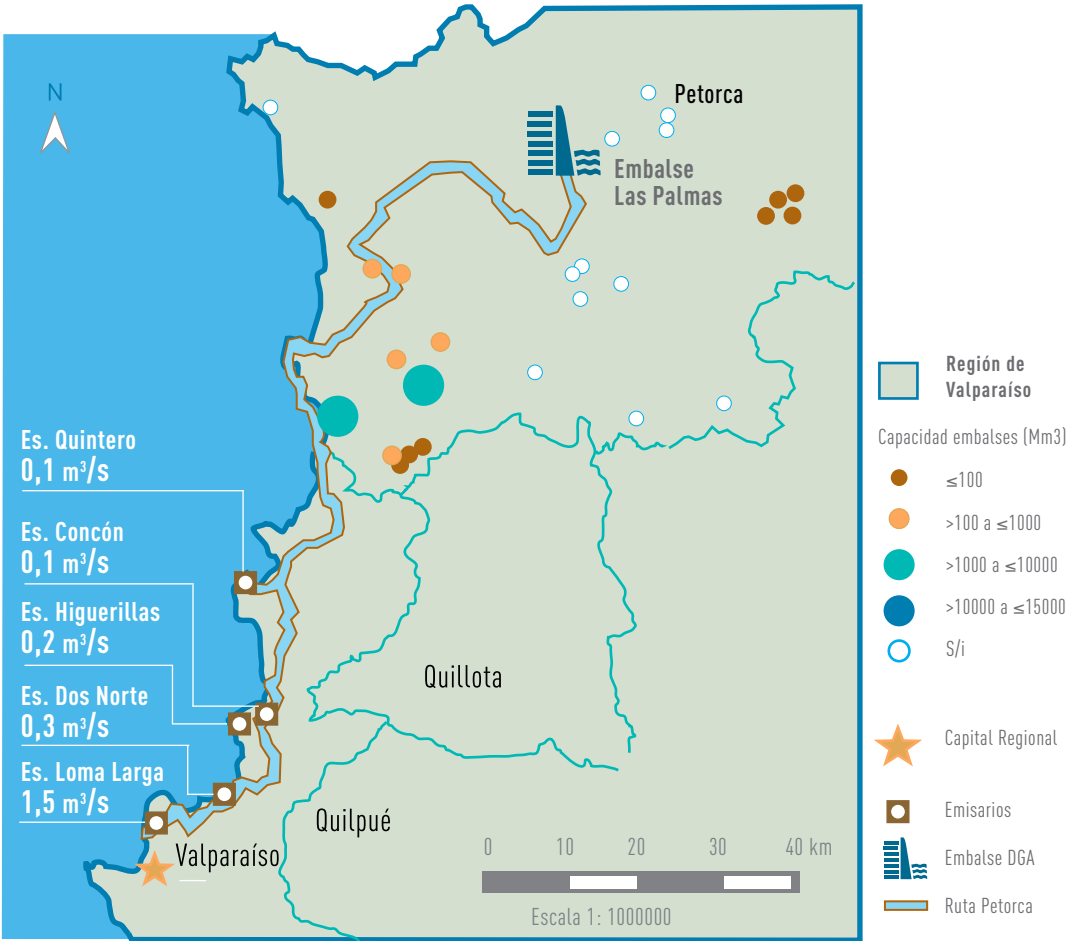
Cabe resaltar que el modelo de negocio es clave para evaluar la factibilidad de implementación, dado que, si el Estado asume la inversión, el costo de operación del sistema de reúso de aguas residuales tratadas es considerablemente menor. Se detectó un gran déficit de infraestructura de almacenamiento de aguas en la zona, lo cual debiera analizarse en profundidad, evaluando diferentes alternativas para este caso (otros embalses existentes no identificados, recarga de acuíferos, embalses subterráneos, embalses en bolsas, otros).

En conclusión, es un proyecto que posee ciertas complejidades de ejecutar en el mediano plazo, debiendo ser analizado con mayor profundidad.

No obstante, es importante considerar que –dado el contexto de crisis hídrica– la implementación de proyectos, ya sea de reúso u otros posibles, mejorarían el abastecimiento tanto para la actividad agrícola como minera, potenciando la economía de la zona y el debilitado empleo.

**FIGURA 15.**  
 TRAZADO SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA EL ABASTECIMIENTO DE LA PROVINCIA DE PETORCA

(FUENTE: FCH, 2015)



CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN PETORCA

(FUENTE: FCH, 2015)

Infraestructura de tratamiento	Distancia de distribución (Km)	Infraestructura de acumulación	Caudal provicional requerido (m³/s)	% de abastecimiento de agua de la demanda actual
PTAS de 1,1m³/s	175	Embalse Las Palmas	3,53	31,2

**TABLA 2.**

SÍNTESIS DE COSTO DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN PARA QUILLOTA, CASABLANCA Y PETORCA

(FUENTE: FCH, 2015)

Caudal planta de tratamiento (m³/seg)	Localidad asistida	Distancia recorrida a km	Inversión (MM USD)			Costo Operación Anual (USD/m³)			Costo de implementación
			PTAS*	Conducción**	TOTAL CAPEX	PTAS*	Conducción**	TOTAL OPEX	
0,4	Casablanca	87	15,5	86,9	102,1	0,17	0,35	0,52	1,5
1,1	Quillota	43	42,2	86,9	129,1	0,11	0,31	0,42	0,9
1,1	Petorca	175	42,2	314	356,2	0,11	0,57	0,68	1,93

\* Metodología de cálculo de costos validada con SISS

\*\*Metodología de cálculo de costos validada con DOH



## La implementación del proyecto

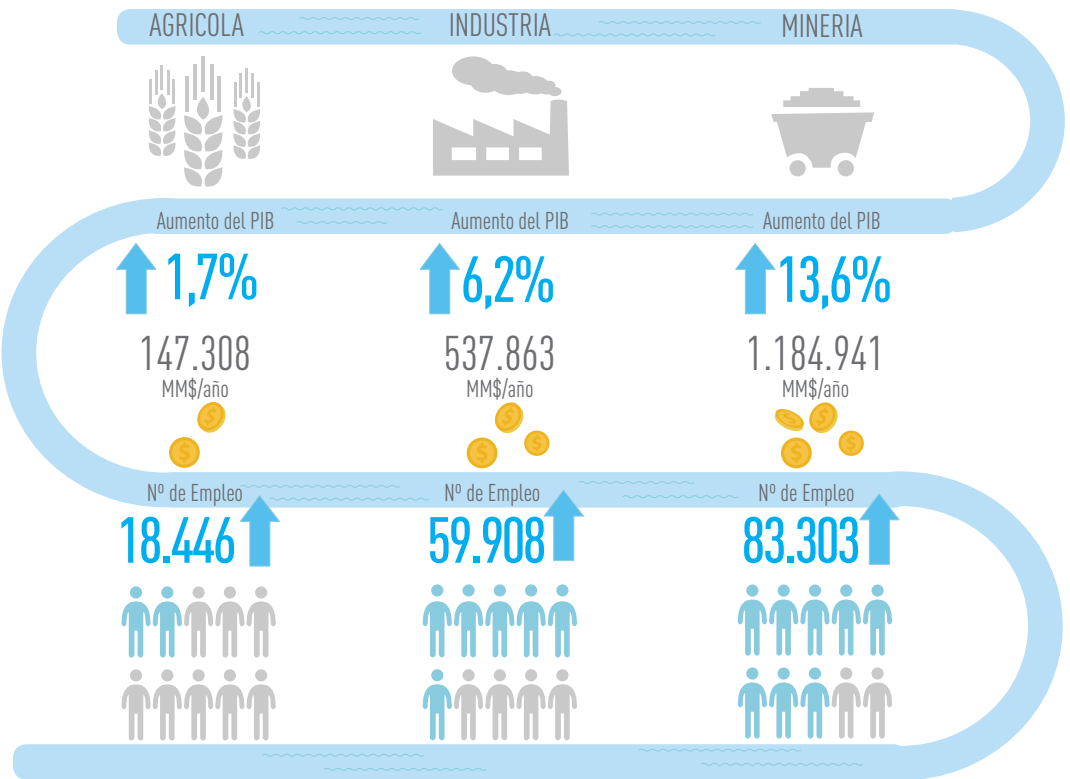
tendría un impacto en el PIB regional de hasta un 13% y una generación de empleo que podría llegar a los 83 mil puestos de trabajo.

## IMPACTO REGIONAL: PIB Y EMPLEO

Disminuir la brecha hídrica que hoy pone en riesgo el desarrollo futuro de la región, es la esperanza que surge ante el análisis de estos tres escenarios. Sobre la base de la importante oferta de aguas residuales que existe en la Región de Valparaíso, las que pueden ser tratadas con la tecnología disponible hoy en Chile, se da la oportunidad de constituir una nueva fuente, dando confianza en el abastecimiento de agua a los sectores productivos que tengan esa carencia.

Al comparar los costos de los diferentes escenarios de reúso de aguas residuales tratadas con otras opciones de nuevas fuentes de agua como por ejemplo desalación, se observa que el reúso es significativamente más barato. Aunque estas soluciones son complementarias y no compiten, el costo

**FIGURA 16.**  
**IMPACTOS DE HUELLA HIDRICA**  
 (FUENTE: FCH, 2016)





Fotografía Fundación Chile

de inversión de un sistema de tratamiento de aguas para el reúso de aguas residuales es aproximadamente 72% más barata que una planta de desalación equivalente en capacidad. En cuanto a los costos de operación y mantención, si se comparan por ejemplo en cuanto a su requerimiento energético, el reúso de aguas residuales es un 90% más barato que una planta de desalación. Debido a lo anterior es que a nivel internacional las aguas residuales tratadas son aprovechadas en riego y las aguas desaladas utilizadas para consumo humano.

Las estimaciones de valor del agua en la región de Valparaíso demuestran que inyectar nuevas ofertas hídricas en la región es socialmente rentable, mientras el costo marginal de producción y distribución no supere el ingreso marginal regional, evaluado en el orden de \$ 1.500 por  $m^3$ .

Teniendo esta nueva fuente, la forma de administrarla será relevante en su impacto final. No se trata sólo de decidir a qué sector destinar este nuevo recurso, sino en qué

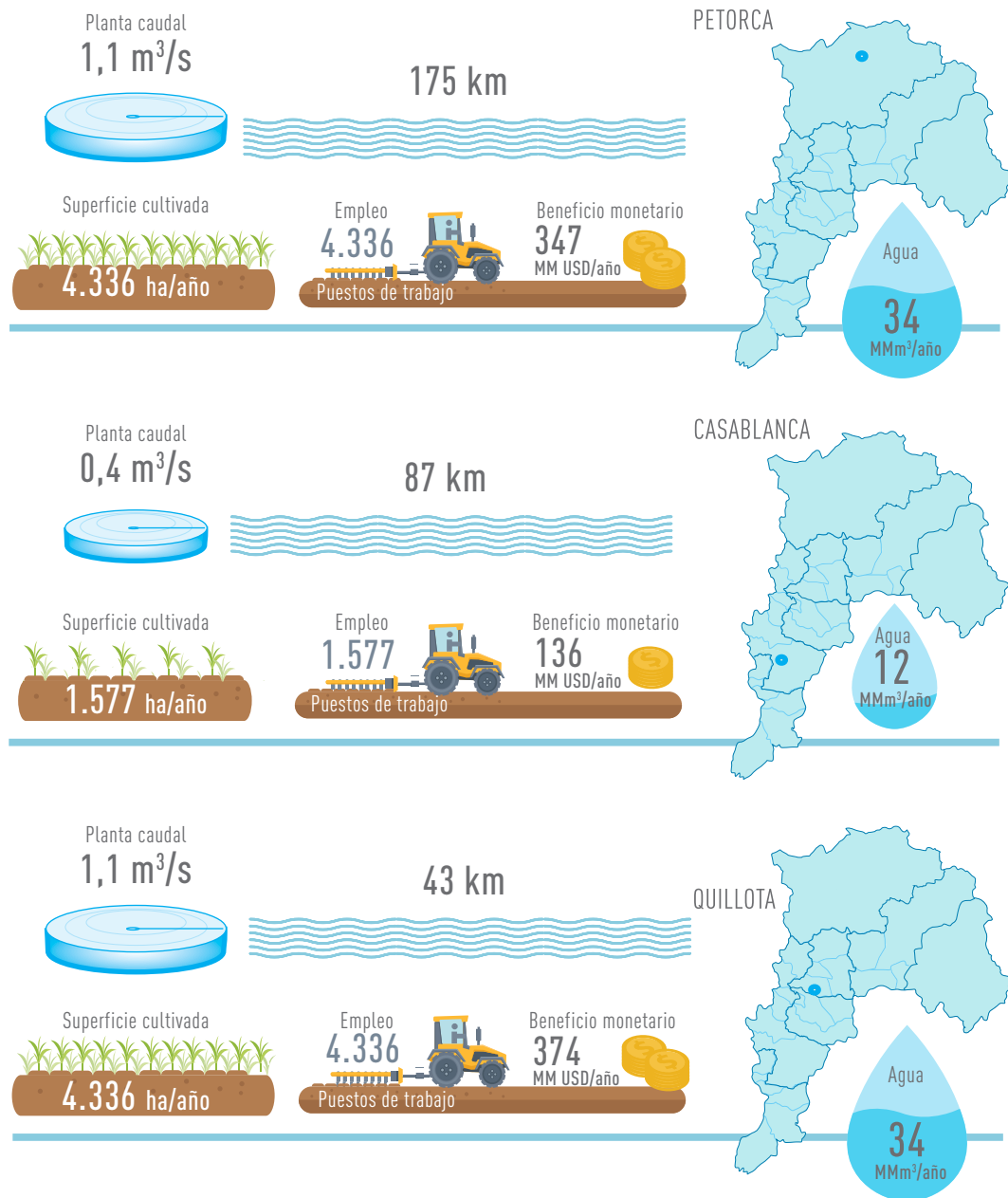
proporciones hacerlo. Si se tiene, por ejemplo,  $2,6 m^3/s$  adicionales en la región, el estudio concluye que en caso de priorizar la agricultura básica (destinando 94% de las aguas a este sector), se tendrá un alto impacto social, por el aumento del empleo agrícola, pero un bajo impacto en el PIB regional. En cambio, si la determinación fuera priorizar la minería (otorgando un 15% a este sector, un 10% a la industria y un 59% a la agricultura), habría un beneficio tanto en el PIB como en el empleo. Se calcula que, en este caso, el PIB aumentaría en un 13% y que se generarían 83 mil empleos. Una tercera opción sería priorizar la industria (con un 16% para este sector y un 72% a la agricultura), lo que tendría un efecto positivo en el PIB (de 6%) y también en el empleo regional (57 mil nuevos puestos de trabajo).

En base a este análisis, se concluye que la mejor alternativa tomando en consideración los impactos económicos, ambientales y sociales, es asignar la prioridad hacia minería, lo que también implica destinar una alta proporción de los recursos hídricos a la agricultura, al sector de agua potable e industrial. Si así fuera, la producción agrícola seleccionada debiera estar orientada hacia productos de consumo interno y no de exportación, siendo estos de consumo final o intermedio para la agroindustria.

Más allá de cómo se asigne esta nueva fuente de agua, la implementación del proyecto tendría un impacto en el PIB regional de hasta un 13% y una generación de empleo que podría llegar a los 83 mil puestos de trabajo, por el desarrollo de bienes en los sectores minería, industria y agricultura.

## FIGURA 17. BENEFICIOS DEL REÚSO

Referencia: consumo hídrico plantación de paltos







# CAPÍTULO 4

## LA OPORTUNIDAD SE TRANSFORMA EN DESAFÍO



Fotografía Fundación Chile



**Destacable** fue el aporte del Comité Técnico, conformado por actores del sector público y privado.

## APOYO REGIONAL Y NACIONAL

Desde mesas de riego, reuniones de APR (Agua Potable Rural), entrevistas con autoridades y difusión a la comunidad, a la conformación de un Comité Técnico. Todas instancias que permitieron alimentar este Diagnóstico con opiniones, experiencia in situ, conocimiento especializado y el necesario liderazgo de actores regionales y nacionales. Un complemento imprescindible para el análisis de los resultados. Así, la recopilación de datos y antecedentes, iba de la mano con la bajada a la realidad local y la necesaria validación de los datos.

Destacable fue el aporte del Comité Técnico, conformado por actores del sector público y privado, vinculados a la temática del agua. Participaron autoridades nacionales, representantes de la DOH, SISS, Minsal; autoridades regionales, del GORE Valparaíso; autoridades locales, de la Gobernación Petorca, Quillota y Valparaíso; además de representantes de empresas y asociaciones gremiales de ESVAL, ANDESS y ECONSSA y asesores expertos en la temática.

El Comité Técnico sesionó en 7 oportunidades, abarcando aspectos técnicos, económicos, legales y normativos, para –a partir del análisis de los resultados– ir preparando el terreno para una futura implementación del reúso de aguas residuales.

Concluido este Diagnóstico, recogemos aquí las respuestas de algunos de los miembros de este Comité a las preguntas sobre la implementación del reúso:

## ¿Cuáles son los factores críticos pendientes de resolver para el éxito del reúso de aguas residuales en Chile y su implementación?

**Gabriel Caldes**, asesor independiente

“En la actualidad, aún existen barreras de carácter cultural, político, ambiental y de salud pública para que la sociedad decida destinar recursos en este tema. Algunas de ellas son:

1. Falta de una legislación adecuada o políticas públicas que den una señal a la industria para que se implementen proyectos para el reúso eficaz de estas aguas, a lo menos, en las zonas donde exista escasez hídrica. Aún existe incerteza jurídica respecto de quiénes son los dueños de estas aguas, una vez que son abandonadas en el afluente. A modo de ejemplo, existe una Comisión Hídrica en el Congreso y un Consejo de Ministros, los que –entre otras materias– están dedicados a resolver y proponer soluciones jurídicas para este tema, pero las prioridades y los tiempos no tienen la velocidad esperadas.
2. Aún está en la memoria colectiva el regadío con aguas residuales crudas o sin tratar y del rol que jugaron estas aguas en la propagación del cólera a fines de la década de los 80 o del norovirus en el norte del país. Esta situación, más el prejuicio lógico del uso de estas aguas en actividades productivas, se hacen extensivos a las aguas residuales tratadas.
3. En el debate de los recursos hídricos, en relación al destino de las aguas y al rol del Estado sobre los recursos hídricos, incluido las aguas residuales tratadas, existen diferencias entre la industria sanitaria y la agroindustria, como los políticos y medioambientales, impidiendo a la fecha, construir una propuesta política compartida por todos respecto de estas aguas.
4. Falta de liderazgo de alguna institución que dirija el proceso de viabilizar el reúso de estas aguas. Las empresas sanitarias, el Ministerio de Salud, de Medioambiente o la SISS, no han tenido un protagonismo relevante en esta materia para que se pueda avanzar. Esta última institución debería dar una señal clara y manifestar su posición para dar luz verde o luz roja al reúso de estas aguas”.

¿Existe alguna definición normativa necesaria de implementar para el reúso de agua en Chile? Si ya existe el instrumento para ello, ¿cuál es?

**Marta Sepúlveda**, División de Concesiones  
Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)

“Desde la perspectiva del marco sanitario, esto es, la Ley General de Servicios Sanitarios, el reúso de las aguas residuales no constituye un objeto de la concesión y, en estricto rigor, no se relaciona con las actividades de su objeto. Por tal razón, no cuenta con un tratamiento de orden normativo, como tampoco se ha dado una interpretación respecto de ella.

Las únicas disposiciones atinentes en el marco jurídico sectorial son las que definen el fenómeno jurídico que se produce por el abandono de las aguas residuales en los cursos de agua y la obligación que pesa sobre el prestador de indicar el punto de las descargas de esas aguas residuales en el curso receptor”.

## ¿Qué se debe hacer en la región para encaminarse a la implementación del reúso?

**Felipe Cáceres**, *Director DOH región de Valparaíso*

“En nuestra región, lo primero es poner en conocimiento de las autoridades locales lo que está ocurriendo con el agua residual. Debemos crear inquietud local, ya que eso produce ideas, iniciativas, proyectos y soluciones e incorpora neuronas al desafío.

Profundizar en el conocimiento del impacto ambiental de los emisarios marinos, que parecen una buena solución, o una mejor solución que descargar las aguas directas en las playas –como se hacía anteriormente en las costas chilenas–, pero que ocultan una irresponsabilidad ambiental, ya que debiéramos hacernos cargo de tratar el agua antes de descargarla al mar. La pregunta que surge es por qué una descarga de un WC en la localidad de Peñablanca o Villa Alemana tiene que recorrer decenas de kilómetros para llegar al mar, siendo que es posible tratar esa agua y usarla localmente.

Un aporte de este Diagnóstico es que nos den a conocer las rutas de las aguas residuales, lo que nos permitiría evaluar las posibilidades de interceptación, reúso, acumulación y aprovechamiento local”.



Conociendo que hay regiones en que hay regiones donde la escasez hídrica ha golpeado fuerte la disponibilidad de agua para el consumo humano ¿cómo ves la posibilidad de que el reúso, como una alternativa, pueda gatillar algún sistema de gestión que pueda generar SWAP para dejar mayor disponibilidad de agua potable y esas aguas de reúso puedan ser utilizadas en sistemas productivos?

**Patricio Herrada.** *Gerente de Estudios, ANDESS*

“Para nosotros, hoy en día en una sociedad que enfrentamos tan crítica, hay que destacar también los éxitos. Vemos que está cuestionado el sistema, pero hoy en día podemos hablar de reúso (o reutilización de aguas servidas tratadas) porque tenemos una política pública que fue exitosa. Hace 20 años atrás, Chile tomó una decisión país, y esa decisión país hoy dio el fruto que tenemos el 100% de las aguas servidas descontaminadas, de las aguas urbanas, y ese es el punto de partida. No partimos de cero. Eso trajo consigo que el sector tuvo que enfrentar diferentes desafíos y posteriores etapas de modernización, donde claramente existen desafíos orientados a poder garantizar el consumo humano.

Sólo un dato, las empresas de agua potable en Chile, para prestar el servicio a más de 5 millones de hogares (más de 16 millones de chilenos), utilizan sólo el 5% el agua disponible, 5% de los recursos hídricos para entregar el servicio continuo. Eso es un tremendo desafío. Y frente al desafío del cambio climático, nosotros tenemos que ver de qué forma garantizamos a nuestros clientes este servicio continuo.

Nosotros pensamos que este concepto de seguridad hídrica tiene una dimensión superior, que en el fondo tiene que ver con la gestión hídrica de la cuenca. Y en ese sentido, haciendo una

gestión hídrica de la cuenca, con una institucionalidad en cuenca como corresponde, que pueda coordinar a los actores, ahí se tiene dentro un factor específico que es la seguridad hídrica. Y en ese sentido se encuentran diferentes posibilidades, siendo una de ellas el hacer un SWAP, en donde de alguna forma se libere el recurso agua fresca para poder ser utilizado siempre con foco en el consumo humano. Creo que ese es el principal desafío. Si bien es cierto que tenemos otros sectores, claramente, señales como la modificación del código de aguas, que apuntan a dar prioridad al uso humano, son para nosotros buenas señales y las apoyamos totalmente.

Está el compromiso de las compañías en seguir avanzando en lo que es gestión de cuencas, mayor seguridad hídrica, pero todo esto de la mano de una institucionalidad que nos permita avanzar, soñar. Así como hace 20 años se soñó con la descontaminación, por qué no soñar hacia adelante con una mayor seguridad hídrica, pero todo esto en base a una discusión país”.

Según los antecedentes de otros países donde el rol del Estado es importante, existiendo además otros actores del mundo público y privado que tienen opinión sobre los modelos de reúso que pueden implementarse ¿Qué piensa del reúso como parte de una política hídrica integrada para Chile?

**Marcelo Herrera**, *Coordinador Regional de Recursos Hídricos.*

“La reutilización de las aguas servidas debe ser parte de una política global de cómo nosotros estamos usando hoy día los recursos hídricos y cómo los vamos a usar en el futuro. Debemos tener claro los actuales episodios de escasez hídrica que como país hemos, y estamos enfrentando, junto con la pesimista proyección para los próximos años de una escasez hídrica cada vez más aguda a causa del cambio climático. Por tanto es casi una obligación mirar y desarrollar nuevas fuentes, como lo son las aguas grises, aguas tratadas de las plantas sanitarias y los emisarios submarinos. Todas desde la misma fuente, pero con distinta calidad de disponibilidad.

Por otro lado, existen zonas donde el agua cada vez es más escasa, a tal punto que son decretadas como zona de catástrofe hídrica, como es el caso de la cuarta y quinta región y que, además, coincidentemente, son estas regiones donde se encuentra concentrada el mayor volumen de agua con tratamiento primario a nivel nacional; aguas que se vierten en el mar mediante emisario submarino. Es precisamente ante estos desafíos donde se necesita políticas públicas claras y de bien común, esto acompañado e idealmente conectadas con el triángulo de oro, la vinculación de los servicios públicos, en coordinación con los privados y el aporte técnico de la academia.

Dicha política debería estar orientada, a mi parecer, a contribuir a la gestión integrada de los recursos hídricos en cada cuenca, priorizando el uso de esta agua y redistribuyendo a los sectores productivos e industriales para el desarrollo económico del país. De esta forma podríamos bajar la presión a la cuenca con respecto al consumo del recurso hídrico, generando coordinación y gobernanza entre los demandantes para la reutilización y el consumo de aguas

de reúso. Para lograr la nueva distribución de este bien es imperante impulsar la inversión en infraestructura necesaria. Todo lo anterior con fuerte mecanismo de inversión público-privado, con la que se podrá garantizar la buena distribución de este citado recurso.

Por otro lado, como otra línea de la política que deberíamos desarrollar, está el promover el uso de nuevas tecnologías que ayuden a bajar los costos de operación y distribución y, por sobre todo, el de aumentar la calidad de las agua de reúso.

Finalmente, la promoción de dichas buenas prácticas es también parte de una política de estado, donde su orientación debiese ser también el ciudadano, siendo éste parte del desarrollo del reúso de agua domiciliaria, como por ejemplo la utilización de las aguas proveniente de las ducha y lavadora destinadas al riego de las áreas verdes y en algunos casos como fuente para el sector productivo en la agricultura familiar campesina, utilizando aguas de reúso en APR. En esta misma línea las instituciones dedicadas a construir y supervisar la construcción de viviendas debieran tener en consideración la separación de las aguas grises de las aguas negras al interior de éstas, facilitando la manipulación de las aguas de reúso generando una disminución de los costos operacionales.

Lo concreto es que naturalmente esto debe ser parte de una política global y lo que tenemos que hacer es remover los obstáculos, resaltar las fortalezas y considerar las experiencias de los países desarrollados que ya han tomado esta línea. No debemos dejar de lado que nuestro país posee gran parte de los factores productivos para un desarrollo agrícola. Se posee el clima, las capacidades técnicas e incluso el mercado... sólo nos faltaría el agua”.



Fotografía Fundación Chile



**Si se reusara** la totalidad de las aguas residuales tratadas, se lograría abastecer al menos un tercio de la necesidad hídrica regional de los principales sectores productivos.

## UNA OPORTUNIDAD PARA LA REGIÓN

Si se usara la totalidad de las aguas residuales tratadas, se lograría abastecer al menos un tercio de la necesidad hídrica regional de los principales sectores productivos. Esta es la esperanzadora proyección que se desprende del proyecto “**Diagnóstico del potencial de reúso de las aguas residuales tratadas en la Región de Valparaíso**”.

Disponer de esta nueva fuente de agua para la región, no sólo significaría aminorar la escasez hídrica, enfrentando las consecuencias de posibles sequías futuras, sino que se contaría con un recurso adicional en forma permanente para el desarrollo de cualquiera de los sectores productivos que pudieran hacer uso de este nuevo recurso, permitiendo –por ejemplo– expandir los cultivos o sembrar zonas que ya habían sido descartadas por la agricultura, utilizarse para procesos productivos industriales o mineros, recuperar acuíferos o usarse para asegurar la sostenibilidad de la actual actividad productiva en la región, teniendo un eventual impacto positivo en el PIB regional y en el empleo.

Todo ello, además de las externalidades beneficiosas para el medio ambiente, al minimizar la contaminación que producen las descargas de residuos líquidos en los cuerpos de agua naturales. Algo que también previene problemas de salud en las personas.



Digno de mencionar es otro beneficio directo para la agricultura: las aguas de reúso disminuyen el costo de producción, dado que poseen los nutrientes necesarios para reemplazar los fertilizantes industriales que se utilizan actualmente y que son precursores del Gas Efecto Invernadero (GEI), entre otras externalidades positivas.

Numerosas son las consecuencias positivas del reúso, tal como lo han probado los países que lo han integrado como parte de sus políticas de manejo de los recursos hídricos. Sin embargo, la gran pregunta para Chile, y específicamente para la región de Valparaíso, apunta a su factibilidad.

Este Diagnóstico concluye que en la región existe el potencial para desarrollar el reúso de aguas residuales tratadas. De hecho, esta zona tiene una condición privilegiada:

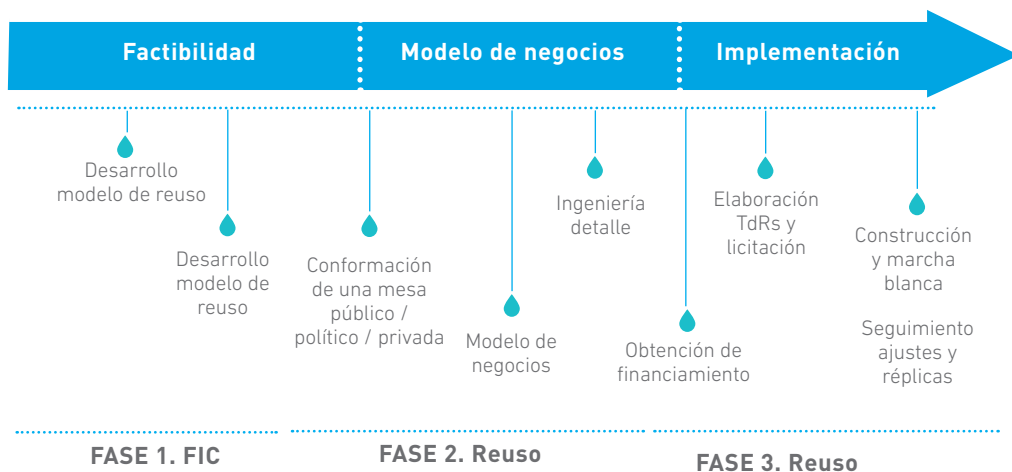
posee la mayor cantidad de aguas residuales disponibles en emisarios submarinos potencialmente reutilizables en Chile (la región descarga un 38,6% del volumen total de aguas residuales por emisarios submarinos en el país). Un recurso que hoy se está yendo al mar y que –al implementar el reúso– tendría la oportunidad de valorizarse.

La existencia de tecnología de punta para tratar las aguas residuales, así como de una normativa que no restringe el reúso –aunque hay que señalar que tampoco lo fomenta–, son factores que también contribuyen a su implementación.

El análisis de tres escenarios de la región permitió demostrar la factibilidad del reúso. Con distintos énfasis, eso sí. En Casablanca y Quillota, dada su ubicación más cercana respecto a los emisarios submarinos que serán la fuente del recurso, el proyecto tiene una alta

**FIGURA 18.**  
FASES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

(Fuente: FCH, 2016)



factibilidad de llevarse a cabo. En Petorca, en cambio, la competencia con el costo de una planta desaladora es estrecha, por lo que se trata de una opción más compleja, pero no por ello deja de ser factible, dada la profunda crisis hídrica que se ha vivido en esta provincia y los elevados precios que se han llegado a pagar por cada metro cúbico de agua.

Pero no todo es a favor. Uno de los puntos críticos es la falta de embalses para almacenar el agua residual tratada. Podría subsanarse, considerando la cartera de proyectos que tiene el Gobierno. Alternativas dignas de análisis son los embalses subterráneos, la recarga de acuíferos y los microembalses en bolsas. En suma, un problema que puede transformarse en oportunidad.

Otra barrera a vencer es la desconfianza,

herencia del brote de cólera de principios de los 90, que dejó una marca de prejuicios en distintos estamentos, que aún no se abren a esta nueva realidad de los sistemas de reúso en el mundo.

Un aspecto que también juega en contra es que la demanda es estacional (verano) o sólo en períodos de escasez de agua, lo que atenta contra un sistema que debe funcionar en forma permanente y con un caudal relativamente constante.

La ausencia de una política de recursos hídricos que incentive el reúso y la búsqueda de nuevas fuentes de agua es, a la larga, el gran obstáculo para su desarrollo. De ahí que, concluida esta fase de análisis de factibilidad, proponemos pasar a una segunda etapa en que se establezca una mesa público-privada



que sienta las bases para su implementación.

La definición de un modelo de negocios para la implementación del reúso debiera ser el resultado de esa convocatoria. Si se observan los ejemplos internacionales, podemos encontrar desde modelos cien por ciento públicos, hasta completamente privados, pasando por una gama de opciones mixtas. Estas últimas son las más atractivas de analizar, considerando las circunstancias locales y el rol gubernamental en la gestión hídrica.

Establecido el financiamiento y el necesario impulso inicial, tocará definir zonas de distribución, rutas y sistemas para contener el agua residual tratada. Aquí quedarán establecidas las condiciones para la operación y mantención, los inversionistas y formas de pago (subsidios, tarifas, etc). El resultado

debe ser un modelo sustentable en el tiempo, de modo que se pueda replicar a nivel regional y, eventualmente, al resto del país.

La implementación completa del sistema podría tomar entre tres y cinco años, un período prudente para esperar por la seguridad hídrica que traerá aparejada. Su puesta en marcha será bienvenida.

Concluido este Diagnóstico, no culmina la motivación de Fundación Chile por seguir aportando al desarrollo hídrico del país. Dada la importancia que revierte la implementación de soluciones innovadoras a la problemática del agua en nuestro país, FCH continuará buscando los recursos y apoyos necesarios para lograr la implementación de esta iniciativa en la Región de Valparaíso y en Chile.



# ANEXO SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE REÚSO

El modelo conceptual desarrollado para el reúso de aguas residuales tratadas se valida a través de la construcción de escenarios de aplicación, los que tienen por objetivo proponer una solución específica por provincia que permita abastecer la demanda de aguas a través del tratamiento y distribución de aguas residuales tratadas.

Con el objetivo de asegurar la aplicabilidad de los escenarios de reúso es que se seleccionó a aquellas provincias que presentaran un mayor valor en el índice de aplicabilidad, el que se confeccionó considerando una serie de atributos relevantes para el reúso de aguas residuales tratadas. Los atributos se clasificaron en dos categorías; atributos sociopolíticos y atributos técnicos económicos. En la Tabla 3 se presentan los criterios de evaluación de los atributos del índice de aplicabilidad para el reúso de aguas residuales tratadas.

Los aspectos anteriormente mencionados se evaluaron en todas las provincias de la región y el resultado se muestra en la Tabla 4. Es importante destacar que se le asignó el mismo valor a cada uno de los atributos y que el índice se calculó sumando los valores ponderados. Una vez seleccionadas las provincias para los escenarios de aplicación de reúso de aguas residuales tratadas, se procedió a recopilar información detallada de cada una de ellas.

**TABLA 3.**  
DEFINICIÓN DE ATRIBUTOS PARA LA SELECCIÓN  
DE ESCENARIOS DE REÚSO

(Fuente: FCH, 2016)

Aspectos sociopolíticos						Aspectos técnico-económicos							
Voluntad Política		Declaración de zona de escasez hídrica		Capacidad de pago		Consumo hídrico		Capacidad de acumulación		Distancia a fuente de aguas residuales		Zona de estrés hídrico	
Criterio	Valor normalizado	Criterio	Valor normalizado	Criterio	Valor normalizado	Criterio (m³/s)	Valor normalizado	Criterio (MMm³)	Valor normalizado	Criterio (Km)	Valor normalizado	Criterio	Valor normalizado
Nulo apoyo al proyecto	1	Sin declaración	1	Mínima cantidad	1	< 2	1	<12,5	1	≥ 120	1	Sin pozos es descarga	1
Bajo apoyo al proyecto	2	Declaración comunal	2	Baja cantidad	2	2 - 4	2	12,5 - 25	2	120 - 80	2	1 a 10 pozos descargados	2
Mediano apoyo al proyecto	3	Declaración provincial	3	Media capacidad	3	4 - 6	3	25 - 37,5	3	80 - 40	3	11 a 20 pozos descargados	3
Alto apoyo al proyecto	4	Declaración provincial (más de dos veces)	4	Alta cantidad	4	≥ 6	4	>37,5	4	< 40	4	≥ 20 pozos descargados	4

## ATRIBUTOS SOCIOPOLÍTICOS

Los atributos sociopolíticos que se consideraron en el índice de aplicabilidad fueron: voluntad política, declaración de zona de escasez hídrica y capacidad de pago, ya sea pública o privada. Estos atributos viabilizan la implementación futura del o los proyecto(s) de abastecimiento de aguas residuales tratadas. Por ejemplo, si se cuenta con la voluntad política a favor de la implementación del reúso de aguas residuales, esto implica que a nivel del gobierno regional podría haber prioridad de financiamiento para la implementación de la solución. Asimismo, el contar con la declaración de zona de escasez hídrica, contribuye con fondos e instrumentos de fomento para la inversión en posibles soluciones que contribuyan a aumentar la seguridad hídrica en la región. Esto se complementa con la capacidad de pago, la que de ser positiva aumenta las posibilidades de sustentar la solución propuesta en el tiempo.

El atributo voluntad pública fue definida a través de reuniones con el Intendente de la región de Valparaíso junto a otros actores del sector público como: el SEREMI de Agricultura, SEREMI de Obras Públicas, la Comisión Nacional de Riego, personeros del GORE, además de asesores técnicos del mismo. Los tomadores de decisión consultados en este proyecto consideraron que debían tener prioridad aquellas zonas afectadas por la sequía,

tomando como indicadores: los largos periodos de escasez hídrica en la región, la baja en el empleo que esto ha significado producto de la pérdida de los cultivos por falta de agua, y los efectos que esto tiene para la economía y el crecimiento regional.

La capacidad de pago de los sectores demandantes de agua de la región fue obtenida a través de reuniones y encuestas con los distintos sectores productivos de la región de Valparaíso. Entre los que destacan: ASIVA, asociaciones de regantes, canalistas, APR, entre otros.

De la aplicación de estos criterios, destaca con un mayor puntaje parcial la provincia de Petorca (12/12, ver Tabla 4) porque ha sido zona declarada de escasez hídrica desde 2011 a la fecha, lo que se traduce en un mayor compromiso por parte de las autoridades regionales, así como una mayor disposición por parte de los agricultores a pagar por el agua. Esta situación se repite en las provincias de Valparaíso y Quillota, 9/12 y 11/12, respectivamente. Las provincias de San Felipe y Los Andes, si bien es cierto han sido declaradas en algunas oportunidades como zona de escasez, esto no ha generado una situación tan crítica que movilice a los sectores productivos hacia la alternativa de compra de agua. Esta situación puede variar considerando la situación hídrica a futuro.





Fotografía Fundación Chile

## ATRIBUTOS TÉCNICO-ECONÓMICOS

En este análisis se priorizaron aquellas provincias que presentan mayor costo eficiencia en sus atributos técnico-económicos, ya que esto influye en la aplicabilidad del modelo de reúso. Los atributos seleccionados fueron: capacidad de acumulación, distancia fuente de aguas residuales a zona de abastecimiento, consumo de agua y zona de estrés hídrico. De estos, los dos primeros definen los costos de implementación (inversión y operación) de las soluciones de abastecimiento de agua. El consumo de agua y las zonas de estrés hídrico fijarán la prioridad para aquellas provincias que poseen la mayor brecha, y por lo mismo necesiten implementar iniciativas que contribuyan a aumentar la seguridad hídrica.

A continuación, se detalla cada uno de estos atributos.

## • Capacidad de acumulación

La capacidad de acumulación es un atributo relevante para el dimensionamiento de la infraestructura hidráulica requerida para implementar el reúso. Si existe suficiente infraestructura disponible para el almacenamiento de aguas residuales tratadas en la provincia no se requiere invertir en nueva infraestructura.

El levantamiento de la capacidad de agua se realizó con fuentes de información de la DOH, considerando infraestructura existente y proyectos en desarrollo (Plan Regional de Grandes Embalses). Se aplicó una escala de 1 a 4 para ponderar el aporte de este atributo al índice de aplicabilidad, siendo 1 el valor donde la capacidad de embalse es menor a 12,5 MMm<sup>3</sup>, y 4 cuando la capacidad de acumulación es mayor a 37,5 MMm<sup>3</sup>, tal como se muestra en la Tabla 3.

Como resultado, destacan con un mayor puntaje las provincias de Valparaíso (4/4), Quillota (3/4) y Petorca, Marga Marga y San Antonio (2/4). En Los Andes y San Felipe (1/4) la situación es diferente ya que no poseen infraestructura de almacenamiento suficiente para sustentar el requerimiento potencial que la solución de reúso plantea.

## • Distancia fuente de aguas residuales – zona de abastecimiento

Este parámetro influye directamente en los costos por concepto de conducción de agua. Para determinar el valor de este atributo por provincia se consideró la ubicación de las principales fuentes de aguas residuales, ya sea PTAS urbanas y rurales y/o emisarios, obteniéndose la mayor puntuación en el caso de contar con fuentes de agua residuales cercanas a las zonas de abastecimiento. La mejor condición (4 puntos) se obtiene cuando la distancia entre la fuente de aguas residuales tratadas y el sistema de acumulación es menor o igual a 40 Km. De modo contrario se considera valor 1 que la distancia sea mayor a 120 km. Las distancias se midieron considerando la infraestructura vial del MOP existente entre el punto de origen y destino de las aguas residuales tratadas.

De este análisis se obtuvo que las provincias con mayor puntaje fueron Valparaíso, Marga Marga y San Antonio (4/4), y Quillota (3/4). Las provincias de Valparaíso, Marga Marga y San Antonio se encuentran cercanas a los puntos de descarga de los emisarios submarinos y en el caso de la provincia de Quillota se suma además la PTAS urbana con mayor descarga de la región (PTAS Quillota 0,47 m<sup>3</sup>/s.). El caso contrario se da en las provincias de Petorca (1/4), Los Andes (1/4) y San Felipe (2/4) que están más alejadas de la zona costera y además poseen PTAS urbanas de pequeña y mediana descarga.



## • Consumo de agua

El consumo de agua es un indicador de la presión de los sectores productivos por el recurso. Es por ello que se asoció un mayor puntaje (4) a aquellas provincias que consuman más de 6 m<sup>3</sup>/s, que es el valor de referencia del consumo total de los sectores productivos, y el menor (1) cuando el consumo es menor a 2 m<sup>3</sup>/s.

El mayor consumidor de agua es la provincia de San Felipe (4/4), seguido de las provincias de Valparaíso, Quillota, Petorca y Los Andes (3/4). En estas provincias el mayor consumidor es la agricultura, destacando el valle de San Felipe, Casablanca en Valparaíso, Quillota y Cabildo en Petorca, y en el caso de Los Andes además suma el consumo minero. En el caso de la provincia de Marga Marga (1/4) el consumo de agua es principalmente para fines habitacional e industrial, similarmente a lo ocurrido en San Antonio (1/4).

## • Zonas de riesgo hídrico

Para valorar este atributo se usó como input el análisis de los niveles estáticos de pozos (NEP), obtenidos a partir de reportes estadísticos oficiales (variables hidrometeorológicas y de calidad de agua; Red Hidrométrica Nacional, DGA) el cual presenta las zonas de mayor estrés hídrico de la región. Este atributo se categorizó de acuerdo al descenso en el nivel de pozos, siendo 1 aquellas provincias que no poseen pozos en situación de descarga, y el mayor puntaje (4) fue asignado a las provincias que poseen más de 20 pozos en dicha situación.

Como resultado, destaca que las provincias con mayor riesgo hídrico fueron Valparaíso, Quillota y Petorca (4/4) y San Felipe (3/4), mientras que las provincias de Los Andes y Marga Marga (2/4) y San Antonio (1/4) la situación hídrica no es tan crítica.

Analizando en conjunto los atributos técnico-económicos, destacan la provincia de Valparaíso con 15/16 puntos, seguido de la provincia de Quillota con 13/16 y Petorca 11/16. Las demás provincias obtuvieron un puntaje igual o menos a 10 puntos.

Considerando ambos aspectos, el sociopolítico y el técnico económico, se tiene que las provincias que obtuvieron mayor índice de aplicabilidad para el reúso de aguas residuales tratadas fueron Valparaíso y Quillota con 24 puntos y Petorca con 23 puntos. Este resultado se sintetiza en la Tabla 4.

**TABLA 4.**  
EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE  
APLICABILIDAD DE ESCENARIOS DE REÚSO

(Fuente: FCH, 2016)

Provincias	Aspectos sociopolíticos			Aspectos técnico-económicos				Índice de aplicabilidad
	Voluntad Política	Declaración de zona de escasez hídrica	Capacidad de pago	Consumo de agua	Capacidad de acumulación	Distancia a fuente de aguas residuales	Zona de estrés hídrico	
Valparaíso*	3	2	4	3	4	4	4	24
Quillota**	4	3	4	3	3	3	4	24
Petorca***	4	4	4	3	2	1	4	22
Los Andes	2	3	2	3	1	1	2	14
San Felipe	2	3	2	4	1	2	3	17
Marga Marga	2	3	2	1	2	4	2	16
San Antonio	2	3	2	1	2	4	1	15

\* La declaración de zona de escasez hídrica para la provincia de Valparaíso fue a nivel comunal para la comuna de Casablanca"

\*\* Considera el embalse Los Aromos para el análisis de "Capacidad de Almacenamiento"

\*\*\* Considera el embalse Las Palmas para análisis de "Capacidad de Almacenamiento"



**La provincia de Quillota** se encuentra en una situación hídrica compleja debido al alto consumo de agua y el consecuente deterioro progresivo de las fuentes de agua subterránea, lo que se ha traducido en que ésta ha sido declarada desde 2013 a 2015 como zona de escasez hídrica. Dentro de las razones que explican esta situación, además del factor climático, está el consumo de agua por el sector agrícola, el que representa el 80% del consumo total. El riego se focaliza en cultivos de consumo intensivos de agua, como por ejemplo paltos, los que además son regados con tecnología de baja eficiencia. Dada la escasez hídrica muchos agricultores se han visto en la necesidad de comprar agua para la supervivencia de sus cultivos (información recopilada durante talleres de difusión mediante encuestas a asistentes). Para paliar esta situación es que las autoridades locales han manifestado su apoyo a soluciones que contribuyan a aumentar la seguridad hídrica en esta provincia, lo que se complementa con la intención de pagar por el agua por parte de

los usuarios potenciales. Es por ello que la provincia de Quillota es un excelente candidato para desarrollar el modelo de reúso de aguas residuales tratadas ya que cuenta con la voluntad política y la intención de pago de sus agricultores.

**En el caso de la Provincia de Valparaíso**, el escenario de reúso se focalizó a la comuna de Casablanca ya que esta reúne una serie de atributos que la convierten en una zona idónea para la implementación de reúso. En primer lugar, es la comuna que tiene el mayor consumo hídrico de la provincia de Valparaíso (90 % del consumo total provincial), el que es destinado en su totalidad a riego. Casablanca es una comuna de vocación vinífera caracterizado por la presencia de medianos y grandes agricultores. Si bien es cierto el nivel de tecnificación en esta comuna es mayor al registrado en otras provincias de la región, el problema radica en la gran cantidad de hectáreas cultivadas con vid que además es una especie de alto consumo de agua ( $3.000 \text{ m}^3/\text{Ha}$ )



aprox.). La presión por el agua se incrementa al considerar los episodios de sequía y el potencial de crecimiento del sector. Por todo lo anterior es que los agricultores de la zona manifiestan su intención a comprar aguas residuales tratadas, siempre y cuando se asegure la calidad del agua y que el costo no supere el 10 - 12 % del costo de producción por hectárea. Esto posiciona a la comuna de Casablanca como un excelente candidato para evaluar la implementación de reúso de aguas residuales tratadas.

**La Provincia de Petorca** ha sido el territorio más afectado por la sequía, siendo declarada zona de escasez hídrica desde 2011 a la fecha. Dejando aparte el factor climático, la principal causa de esta situación es el alto consumo de agua por parte del sector agrícola; el que se debe a la gran extensión de terrenos cultivados, los tipos de cultivos presentes en la zona (por ejemplo, palta y cítricos), y además la baja eficiencia en tecnificación del riego.

El prolongado periodo de tiempo en el que la provincia de Petorca ha permanecido en esta situación de estrés hídrico ha desencadenado conflictos entre los distintos usuarios del agua (desconfianza, extracciones ilegales, etc.). Es por ello que, desde el sector público, las autoridades locales han priorizado acciones que contribuyan a paliar esta situación, y desde el sector productivo los agricultores están dispuestos a utilizar aguas residuales tratadas y a pagar por ellas. Los agricultores entienden que los episodios de sequía son parte de su realidad y por lo mismo plantean la necesidad de contar con soluciones adicionales a corto, mediano y largo plazo. Lo anterior posiciona a la provincia de Petorca como un excelente candidato para desarrollar el modelo de reúso de aguas residuales tratadas ya que cuenta con la voluntad política y la intención de pago de sus agricultores.





# GLOSARIO

## **Acuífero**

Formación geológica subterránea que normalmente se llena o recarga con agua proveniente de las lluvias o del derretimiento de las nieves. El agua continúa fluyendo en forma descendente hasta que alcanza formaciones rocosas menos permeables y donde queda acumulada. El bombeo excesivo de agua de un acuífero antes de que pueda llenarse en forma natural, puede provocar el agotamiento del agua subterránea, y como consecuencia de ello, los pozos que dependen del acuífero pueden secarse. (Fuente: RWL, 2015)

## **Aguas residuales**

Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales. (Fuente: FAO, 2016)

## **Agua residual doméstica/municipal producida**

Volumen anual de efluentes domésticos, comerciales e industriales, y escurrimiento urbano (e.g. aguas de tormenta), generada en áreas urbanas. (Fuente: FAO, 2016)

## **Agua residual municipal tratada**

Agua residual tratada (primaria, secundaria y terciaria) anualmente producida por instalaciones para el tratamiento de agua residual municipal en el país. (Fuente: FAO, 2016)

## **Efluentes**

Desechos líquidos o gaseosos, tratados o no, generados por diversas actividades humanas que fluyen hacia sistemas colectores o directamente a los cuerpos receptores. Comúnmente se habla de efluentes refiriéndose a los desechos líquidos.

## **Emisarios submarinos**

Sistema de tratamiento que dispone las aguas residuales de las zonas saneadas en un lugar del Océano, realizando el tratamiento mediante una autodepuración natural sin producir daño al ecosistema acuático y al litoral costero. (Fuente: SISS, 2016)

## **Reúso**

Estrategia para el ahorro y uso eficiente del agua, el cual tiene por objetivo aprovechar el recurso previamente utilizado una o más veces en alguna actividad, para suplir las necesidades hídricas de los usuarios o sectores productivos que lo requieran, después de someterlo a un tratamiento determinado.

## **Saneamiento**

Mejora de las condiciones ambientales en los hogares que afectan a la salud humana, mediante el desagüe y la eliminación de las aguas residuales y los desechos. (Fuente: FAO, 2016)

## **Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales,**

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales  
Conjunto de operaciones y procesos secuenciales físicos, químicos, biológicos, o combinación

de ellos, naturales o artificiales, posibles de controlar que se desarrollan en instalaciones diseñadas y construidas de acuerdo a criterios técnicos específicos para este tipo de obras y cuyo propósito es reducir la carga contaminante de las aguas residuales para adecuarla a las exigencias de descarga al cuerpo receptor. Bajo este concepto se incluyen, entre otros, lagunas de estabilización, lodos activados, y emisarios submarinos aprobados por la autoridad competente". (Fuente: D.S. N° 3.592/2000 del MOP)

### **Tratamiento primario**

Agua residual municipal eficazmente tratada por un proceso físico o químico que incluye la decantación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO<sup>5</sup> del agua residual se reduce en al menos un 20% y el total de sólidos suspendidos del agua residual disminuye en al menos el 50% del valor anterior a la descarga. Los procesos del tratamiento pueden incluir: tanques de sedimentación, tanques sépticos, desengrasado, tratamiento químico de mejora primario. (Fuente: FAO, 2016)

### **Tratamiento secundario**

Agua residual municipal eficazmente tratada por un proceso que generalmente contiene un tratamiento biológico con una decantación secundaria u otro proceso, que conlleva una eliminación de la DBO de al menos el 70% y una eliminación de la DQO de al menos el 75% de antes de la descarga. El proceso del tratamiento puede incluir: lagunas aireadas, manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente, filtros percoladores, contactores biológicos rotativos, zanja de oxidación, digestor

de sedimentación. Los procesos de tratamiento biológicos naturales también se consideran tratamiento secundario, ya que los constituyentes de los efluentes de este tipo de tratamiento son similares a los de los tratamientos secundarios convencionales. El tratamiento biológico natural se refiere a otro proceso, en que se utiliza procesos bioquímicos naturales para tratar el agua residual y puede incluir: estanque de estabilización de residuos, humedales construidos, tratamiento superficial, técnicas de película de nutrientes, tratamiento de suelos de acuíferos, estanque con alta tasa de algas y sistemas de macrófitas flotantes acuáticas. (Fuente: FAO, 2016)

### **Tratamiento terciario**

Agua residual municipal eficazmente tratada por un proceso adicional al de tratamiento secundario de nitrógeno y/o fósforo y/o cualquier otro contaminante que afecta la calidad o un uso específico del agua: contaminación microbiológica, color, etc. Se entiende que este tratamiento pueda eliminar al menos el 95% de la DBO y el 85% de la DQO y/o una eliminación de nitrógeno de al menos el 70% y/o una eliminación de fósforo de al menos el 80% y/o una eliminación microbiológica. El proceso del tratamiento puede incluir: filtración por membrana (micro-; nano-; ultra- y ósmosis inversa), infiltración / percolación, carbón activo, desinfección (cloración, ozono, UV). (Fuente: FAO, 2016).



# SIGLAS

ANDESS: Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios  
APR: Agua Potable Rural  
ASIVA: Asociación de Empresas de la V Región  
CAPEX: Capital Expenditure (Costo de inversión)  
CEITSAZA: Centro de Investigación Tecnológica del Agua en el Desierto  
CIU: Clasificador Industrial Internacional Uniforme  
CIREN: Centro de Información de Recursos Naturales  
CNR: Comisión Nacional de Riego  
COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre  
CORE: Consejo Regional  
DGA: Dirección General de Aguas  
DOH: Dirección de Obras Hidráulicas  
ECONSSA: Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios  
ENIA: Encuesta Nacional de la Industria Anual  
EPA: US Environmental Protection Agency  
ES: Emisarios Submarinos  
ESVAL: Empresa Sanitaria de Valparaíso  
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations  
FCH: Fundación Chile  
FIC-R: Fondo de Innovación para la Competitividad Regional  
GEL: Gases de Efecto Invernadero  
GWI: Global Water Intelligence  
HH: Huella Hídrica  
INE: Instituto Nacional de Estadísticas  
MINAGRI: Ministerio de Agricultura  
MINSAL: Ministerio de Salud  
MOP: Ministerio de Obras Públicas  
OPEX: Operating Expenditure (costo operacional)  
PIB: Producto Interno Bruto  
PTAS: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales  
RILEs: Residuos Industriales Líquidos  
SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental  
SEREMI: Secretaría Regional Ministerial  
SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería  
SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios  
SOFOPA: Sociedad de Fomento Fabril  
SUBDERE: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo  
WFN: Water Footprint Network

