

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS**

**ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE REUTILIZACION DE AGUAS  
SERVIDAS TRATADAS EN SISTEMAS DE RIEGO AGRICOLA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERIA CIVIL  
INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**MANUEL ALEJANDRO CALIZARIO LARA**

**PROFESOR GUÍA**

**RODRIGO DEMARCO BULL**

**VALPARAISO, MAYO, 2025**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por su amor incondicional y por ser mi sostén en cada momento de dificultad y alegría. A mi esposa, por su paciencia, comprensión y por caminar a mi lado en cada paso de este proceso; y a mis hijos, por ser mi mayor inspiración y recordarme cada día por qué vale la pena el esfuerzo.

También deseo agradecer sinceramente a los docentes que me formaron a lo largo de esta carrera. Su compromiso, dedicación y conocimientos fueron fundamentales para mi desarrollo profesional y personal. Gracias por sembrar en mí la pasión por el aprendizaje y por exigirme siempre dar lo mejor de mí.

A todos ustedes, mi gratitud eterna.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
III. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
3.1 Objetivo General.....	6
3.2 Objetivos Específicos.....	6
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1 Escenario mundial.....	7
4.2 Escenario Chileno.....	9
4.3 Balance hídrico nacional.....	12
4.4 Un futuro más seco.....	13
4.5 Aguas servidas.....	14
4.6 Aguas servidas tratadas.....	15
4.7 Reutilización de aguas servidas tratadas.....	17
4.8 Reutilización agrícola (riego) con aguas servidas tratadas.....	19
4.9 Normativas para la reutilización de aguas servidas.....	21
4.10 Normativa nacional.....	22
4.11 Balance de oferta y demanda de aguas por región.....	29
4.12 Plantas de tratamiento de aguas servidas.....	31
4.13 Emisarios submarinos y PTAS costeras.....	32
4.14 Aporte de las aguas servidas tratadas en zonas potenciales.....	33
4.15 Reúso de aguas servidas tratadas en riego.....	34
4.16 Experiencias de reúso de aguas servidas tratadas.....	35
4.17 Experiencia Internacional Israel.....	35
4.18 Experiencia Nacional Región de Coquimbo.....	37
4.19 Factibilidad Legal Gestión de aguas en Chile.....	39
4.20 Empresas de servicios sanitarios.....	45
4.21 Propiedad de las aguas servidas tratadas.....	47
4.22 Posición de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).....	50

4.23 Clientes de las empresas sanitarias.....	52
4.24 Posición de las Empresas de Servicios Sanitarios, Concesiones.....	53
4.25 Procedimiento para el reúso de aguas servidas tratadas.....	56
V. METODOLOGÍA.....	57
5.1 Población y Muestra.....	60
VI. RESULTADOS.....	61
6.1 Evaluación de las zonas potenciales para el reúso de aguas servidas tratadas mediante técnicas de geolocalización.....	61
6.2 Experiencias internacionales de reúso de aguas servidas tratadas mediante técnicas de investigación de mercado para validar tecnologías utilizadas en el tratamiento de agua.....	80
6.2.1 Experiencia en Colombia.....	81
6.2.2 Experiencia en México.....	83
6.2.3 Experiencia de Perú.....	86
6.2.4 Experiencia de Israel.....	88
6.2.5 Experiencia de Brasil.....	89
6.2.6 Experiencia de China.....	92
6.2.7 Experiencia de Italia.....	92
6.2.8 Experiencia de Uruguay.....	93
6.3 Análisis de la propiedad de las aguas servidas tratadas en Chile, mediante investigación jurídica relacionada con el uso de este recurso comunidad de Casablanca.	95
6.4 Solución propuesta para el intercambio de aguas servidas.....	110
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES.....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Oferta y demanda de agua por región en base a balance hídrico, periodo actual 1985-2015 y proyectado 2030.....	30
Figura 2: Caudal efluente de emisarios submarinos y PTAS costeras del año 2020.....	33
Figura 3: Red de canales de Valparaíso.....	62
Figura 4: Mapa físico de la región de Valparaíso.....	62
Figura 5: Uso de los suelos de Valparaíso.....	63
Figura 6: Proporción de uso de los suelos de Valparaíso.....	64
Figura 7: Plantaciones por Provincias de Valparaíso.....	65
Figura 8: Demanda hídrica de la región de Valparaíso.....	66
Figura 9: Demanda hídrica proyectada en la Región Valparaíso.....	67
Figura 10: Distribución de la superficie del sistema de riego principal.....	68
Figura 11: Distribución de superficie regada según CAF 2021.....	59
Figura 12: Distribución de superficie por tipo de riego según CAF 2021.....	70
Figura 13: Distribución de superficie regada por tipo de cultivo y riego.....	71
Figura 14: Variación del volumen del embalse Los Aromos 2021 – 2022.....	72
Figura 15: Variación del volumen del embalse Peñuela 2021 – 2022.....	73
Figura 16: Localización de los emisarios submarinos y PTAS costeras.....	75
Figura 17: Frutales y hortalizas.....	76
Figura 18: Localización de la Comuna CasaBlanca.....	77
Figura 19: Consumo de agua por habitante al día.....	79
Figura 20: Sobreconsumo de agua anual.....	79
Figura 21: Mapa de conducción de aguas servidas desde el emisario.....	113
Figura 22: Perfil piezométrico.....	114

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficie y porcentaje de uso de suelo de la región de la Valparaíso.....	63
Tabla 2: Decretos de escasez del recurso hídrico en la región de Valparaíso.....	71
Tabla 3: Caudal de emisarios submarinos y PTAS costeras de la región de Valparaíso...	75
Tabla 4: Gasto total de agua para la comuna durante el último año y la respectiva proyección de crecimiento.....	78
Tabla 5: Gasto/cliente/consumo de agua potable (m3).....	80
Tabla 6: Valores permisibles de elementos químicos.....	105
Tabla 7: Valor de Conductividad específica (c) y Sólidos disueltos totales (s).....	106
Tabla 8: Análisis del Caudal de Diseño.....	111
Tabla 9: Datos diseño de la conducción.....	114
Tabla 10: Datos diseño de la bomba.....	115
Tabla 11: Análisis de costos del proyecto.....	116
Tabla 12: Comparativa de propiedades agua tratada ESVL versus DS 90.....	117

## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se centra en analizar la factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas para riego agrícola en la región de Valparaíso, con el propósito de disminuir la demanda de agua dulce y enfrentar el déficit hídrico particularmente en la comuna de Casablanca, a través de un análisis exhaustivo de las zonas potenciales y las experiencias nacionales e internacionales en el reúso de aguas servidas lo cual permitiría aliviar la presión sobre los recursos hídricos tradicionales y contribuir a la sostenibilidad de la actividad agrícola en la región. La metodología utilizada incluyó una revisión bibliográfica para cuantificar la demanda potencial de agua de riego, un análisis de la oferta y demanda del recurso, como también, identificar el aporte de los sistemas de tratamientos. Los resultados obtenidos evidenciaron que la región de Valparaíso cuenta con 4 decretos de escasez hídrica, sin embargo, también cuenta con la mayor cantidad de aguas servidas reusables (3,21 m<sup>3</sup>/s), por lo que, el reúso de aguas servidas para riego se plantea como una solución viable ante la crisis hídrica, particularmente en la comuna de Casablanca, donde la disponibilidad de agua es limitada y la demanda agrícola es alta. En tal sentido, este estudio destaca la importancia del reúso de aguas servidas tratadas, la cual surge como una alternativa viable y factible para mitigar los problemas relacionado con los recursos hídricos y satisfacer la demanda de agua para riego agrícola.

**Palabras Claves:** Reúso de aguas servidas, Riego agrícola, Escasez hídrica, Plantas de tratamiento de aguas servidas

## **I. INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de las sociedades, por lo que, su disponibilidad limitada ha generado una situación crítica de escasez o estrés hídrico en diversas partes del mundo, incluyendo Chile. Esto a pesar de contar con una alta disponibilidad per cápita de agua en comparación con otros países de la OCDE, sin embargo, la distribución desigual del recurso y el aumento en el consumo han llevado a una creciente presión sobre los cuerpos de agua existentes, especialmente en la zona central del país. La región de Valparaíso, en particular, enfrenta un descenso pluviométrico significativo y un agotamiento progresivo de sus embalses, lo que compromete el abastecimiento para el consumo humano, la agricultura y otras actividades económicas.

De esta manera, la reutilización de aguas servidas tratadas se presenta como una solución viable y sostenible para mitigar el déficit hídrico, ya que esta estrategia permite un uso circular del recurso, optimizando su disponibilidad para actividades productivas como el riego agrícola. Por lo tanto, la aplicación de este enfoque requiere un análisis exhaustivo de la viabilidad técnica, económica y legal de su implementación en Chile, considerando experiencias internacionales exitosas y las normativas vigentes en el país.

En tal sentido, el presente estudio pretende analizar la factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas para riego agrícola en la región de Valparaíso. Para ello, se evaluarán las zonas con mayor potencial para su implementación mediante técnicas de geolocalización, se investigarán experiencias internacionales que permitan validar las tecnologías de tratamiento utilizadas y se analizará el marco legal vigente en Chile para determinar su viabilidad jurídica.

Finalmente, a través del desarrollo de esta investigación, se espera proporcionar información clave para la toma de decisiones sobre la gestión sostenible del agua en la región y contribuir al diseño de estrategias que permitan enfrentar los desafíos hídricos con tecnologías innovadoras y soluciones sustentables.

## II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

“El acceso al agua dulce ha sido a lo largo de la historia de la humanidad una fuente de poder o de conflicto” (Escribano, 2007, p.88).

Este fenómeno, se da cuando la demanda de agua es mayor que la cantidad disponible durante un periodo determinado en un territorio específico creando la problemática de la escasez o estrés hídrico en el mundo.

El estrés hídrico vulnera el derecho humano al agua e impacta directamente en las necesidades básicas de la población, el derecho humano a este recurso es indispensable para vivir dignamente. “Es por esto, que el agua debe tratarse fundamentalmente como un bien social y cultural, y no sólo como un bien económico” (Alcudia et al, 2022, p.2).

“En la actualidad, existen cifras donde se señala que mundialmente por cada seis personas una se ve afectada por el estrés hídrico” (Alcudia et al, 2022, p.2).

La situación es extraordinariamente paradójica en materia de gestión estratégica del recurso agua. Chile es el quinto país de la OCDE con mayor cantidad de agua disponible per cápita con 56.000 m<sup>3</sup>/persona/año. Al mismo tiempo, es uno de los países que más avances muestra en protección del recurso en la región, los recursos hídricos, no obstante, se distribuyen de manera heterogénea en el territorio nacional y la demanda supera la oferta en varias regiones del país. Asimismo, Chile lidera la lista de países latinoamericanos con mayor estrés sobre estos recursos y mayor probabilidad de experimentar escasez hídrica para 2040 (Quinteros et al, 2019,p.33).

En particular “la zona central de Chile se encuentra en un periodo de mega sequía;

según el estudio conducido por el ministerio de agricultura del 2016, 8 de los 10 años anteriores han tenido un total de precipitaciones anuales bajo el promedio” (Lara, 2020, p.1). Durante este periodo se ha visto en la Región de Valparaíso un descenso pluviométrico en aproximadamente 60% y del agua en los embalses en un 56%, esta agua es utilizada en riegos, agua potable y otras actividades económicas, el agotamiento de estas reservas presenta un gran problema ante el constante aumento de la población y agricultura.

En Valparaíso, se espera un aumento de su población cercana 40% en el corto plazo, lo cual presionara la oferta de agua potable.

En este contexto, estudiar el problema de escasez hídrica resulta fundamental para comprender la situación actual de Valparaíso y, de esta forma, proponer soluciones a los conflictos asociados a la falta de agua.

“En consideración de lo anterior, se hace indispensable la utilización e innovación de nuevas tecnologías y normativas que ayuden combatir la escasez del agua” (Arancibia, 2022, p.1). Entre las opciones existentes se encuentra la reutilización de aguas servidas, esta última con potencial de aplicación a nivel país, ya que se destaca por hacer uso circular de aguas, ya sea de forma directa o indirecta, lo que aumenta la oferta del recurso.

Surgen las siguientes preguntas:

¿Con este tipo de iniciativa, se podría disminuir la demanda de agua dulce?

¿Chile está preparado legalmente para la utilización del agua residual como riego?

¿Hay evidencias internacionales de reutilización de aguas servidas tratadas para riego?

### **III. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Objetivo General**

Analizar la factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas para ser aplicado en riego agrícola y enfrentar el déficit hídrico en la región de Valparaíso.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Evaluar las zonas potenciales para el reúso de aguas servidas tratadas mediante técnicas de geolocalización para cuantificar la demanda potencial de agua de riego.

Investigar experiencias internacionales de reúso de aguas servidas tratadas mediante técnicas de investigación de mercado para validar tecnologías utilizadas en el tratamiento de agua.

Analizar la propiedad de las aguas servidas tratadas en Chile, mediante investigación jurídica con el fin de estudiar la factibilidad legal del uso de este recurso.

## **IV. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 Escenario mundial**

La escasez hídrica es un problema global que se ha agudizado en el último tiempo, desde el año 2010, la mayoría de las megaciudades del mundo ha enfrentado problemas asociados a la falta de acceso al agua.

El planeta está conformado superficialmente en su mayoría por agua, sin embargo, sólo el 2,5 % corresponde a agua dulce y esta, a su vez, se compone en un 75 % de agua en estado sólido, considerada como reserva hídrica.

De esta forma, el agua fresca disponible para consumo y actividades humanas ronda los 0,62 % del total (DGA, 2016). Paradójicamente, a nivel mundial, el uso del agua ha aumentado en un 1 % cada año y se espera un incremento de la demanda entre un 20 % al 30 % para el año 2050 en relación con el uso actual.

Además, se estima que aproximadamente 4.000 millones de personas en todo el mundo podrían padecer de una grave escasez de agua al menos una vez al año y se espera que este valor se incremente a medida que aumenta la demanda e intensifiquen los efectos del cambio climático, proyectando al 2050, una escasez de agua para 4.800 a 5.700 millones de personas (UNESCO, 2019).

La escasez hídrica se refiere a la falta de disponibilidad de agua dulce suficiente para satisfacer las necesidades de la población y los ecosistemas, esta característica se da cuando la demanda de agua excede la disponibilidad de recursos hídricos en una determinada región o área geográfica, en otras palabras, existe una falta de agua dulce suficiente para satisfacer las necesidades de la población, esta situación puede ser temporal o crónica, dependiendo de factores

como el clima, las prácticas de gestión del agua y la disponibilidad de fuentes hídricas, este fenómeno es un problema creciente y preocupante que afecta a numerosas regiones del mundo. Existen varias causas principales de la escasez hídrica a nivel global.

En primer lugar, el cambio climático desempeña un papel importante, los patrones climáticos cambiantes, como sequías más frecuentes e intensas, provocan una disminución en los recursos hídricos disponibles, el aumento de las temperaturas también conduce a un mayor estrés hídrico en muchas áreas.

Otro factor importante es el crecimiento de la población y el aumento de la urbanización en forma acelerada y casi exponencial, el cual contribuye de gran manera a la escasez hídrica incrementando la demanda de agua para uso doméstico, agrícola e industrial.

La mala gestión del agua es otro factor importante en la escasez hídrica, esto incluye prácticas ineficientes de riego agrícola, pérdidas en la infraestructura de distribución de agua, falta de políticas adecuadas de conservación del agua y contaminación de fuentes de agua dulce.

La escasez hídrica tiene graves consecuencias económicas y sociales. A nivel económico se puede ver afectada la producción agrícola, la industria y el turismo, lo que a su vez puede conducir a pérdidas de empleo e inestabilidad económica. A nivel social, las comunidades que sufren de escasez hídrica y enfrentan dificultades en el acceso al agua potable y saneamiento básico, lo que afecta su salud y calidad de vida de la población, además, la escasez de agua puede provocar tensiones y conflictos entre diferentes usuarios y sectores.

La escasez hídrica es un desafío cada vez mayor debido al cambio climático, el crecimiento de la población y la mala gestión del agua, estas problemáticas requieren acciones concertadas a nivel nacional (Chile), para garantizar una gestión sostenible del agua y preservar este recurso vital para las generaciones presentes y futuras.

## **4.2 Escenario Chileno**

Chile se ha destacado por ser un país de gran diversidad de ecosistemas, climas y recursos. Respecto al recurso hídrico, el promedio de esorrentía per cápita es de 51.218 m<sup>3</sup>/persona/año lo que supera de forma considerable la media mundial de 2.000 m<sup>3</sup>/persona/año (Banco Mundial, 2010); (DGA, 2016).

Sin embargo, esta media no considera la realidad local del país, ya que dada su variabilidad climática y geográfica la distribución de los recursos es desigual.

El principal factor que contribuye a la escasez hídrica en Chile es la baja disponibilidad de agua dulce, gran parte del territorio chileno se encuentra en una zona semiárida o árida, caracterizada por lluvias escasas y erráticas, la Cordillera de los Andes que se extiende a lo largo del país, captura la humedad y las precipitaciones provenientes del océano Pacífico, generando una barrera natural que limita el acceso al agua en las regiones interiores.

La concentración de la población en la zona central de Chile, particularmente en la región Metropolitana y de Valparaíso contribuye al aumento de la demanda de agua para uso doméstico, agrícola e industrial, provocando que la oferta disponible de agua dulce sea muy inferior respecto a la demanda de este recurso.

Chile con relación al cambio climático, no visualiza un futuro muy alentador, ya que las

proyecciones realizadas para el período 2030-2060, en la actualización del balance hídrico nacional (utilizando diferentes modelos climáticos), muestran disminuciones importantes en las precipitaciones de hasta 25 % en la zona norte - centro y entre 10 % a 40 % en diferentes cuencas de la zona sur.

Además, se pronostica un aumento en las temperaturas entre un 1 % y 2,5 % y una reducción en los caudales entre 30 % a 50 %, según los diferentes modelos utilizados (DGA, 2017, 2018, 2019a, 2019b).

Con respecto a los eventos extremos, aumentarían su ocurrencia a más de 10 veces en 30 años a partir de la segunda mitad del siglo XXI de acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente (MMA,2017).

En relación con la demanda de aguas según su uso, se encuentra una distribución aproximada de 73% para el sector agropecuario, un 11 % para el área industrial, un 4 % para la minería y un 12 % para los servicios de agua potable y saneamiento (DGA, 2016).

Así mismo, el cambio climático ha intensificado la escasez hídrica en algunas regiones de Chile, esto considerando que los patrones de lluvia han cambiado y se han vuelto más impredecibles.

Este último fenómeno resulta en sequías más frecuentes y prolongadas intensificando su impacto en las regiones del norte y centro de Chile, en concreto las precipitaciones son extremadamente bajas.

Para hacer frente a la escasez hídrica, Chile ha implementado una serie de medidas y políticas. Entre ellas se incluyen la construcción de infraestructuras hídricas, como embalses y sistemas de distribución, para capturar y almacenar el agua disponible. También se han

promovido prácticas de uso eficiente del agua en la agricultura, incluyendo técnicas de riego más eficientes y el uso de cultivos más adaptables a condiciones de escasez hídrica.

Además, se han implementado regulaciones y restricciones para el uso del agua, especialmente durante períodos de sequía, se ha fomentado la reutilización y reciclaje del agua en diversas industrias, así como la educación y concientización pública sobre la importancia de la conservación del agua.

La escasez hídrica en Chile es un desafío complejo que requiere de una gestión integral y sostenible del agua, la promoción de la eficiencia hídrica, la diversificación de las fuentes de abastecimiento son aspectos clave para garantizar un acceso equitativo y sostenible al agua en el país.

Una de las posibilidades más abordables de solución a nivel local con potencial de aplicarse a nivel nacional, es la reutilización de aguas servidas tratadas a lo largo del país, la mayoría del agua residual que es recolectada por las empresas sanitarias, si bien es tratada de acuerdo a la normativa vigente, no tiene reutilización, finalmente esta agua es dispuesta en afluentes naturales o emisarios marinos.

El balance hídrico nacional proporciona una visión general de la situación de los recursos hídricos en el país, identificando las áreas con déficit hídrico y las zonas donde existe un excedente de agua.

Este informe es una herramienta importante para la planificación y la toma de decisiones en la gestión del agua a nivel nacional.

### 4.3 Balance hídrico nacional

De acuerdo con el estudio de «Actualización del Balance Hídrico», realizado por investigadores de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y de la Universidad Católica para la Dirección General de Aguas, los caudales de los embalses de la zona norte y centro del país han experimentado importantes disminuciones al comparar los promedios registrados para el periodo 1985-2015 y el promedio observado para el lapso 2001-2018.

Según el estudio, en las últimas tres décadas, los caudales de las cuencas del Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito y Maule han disminuido entre 13 y 37 por ciento. Más al norte, la variación es aún más difícil de constatar, debido a que el balance anterior no disponía de toda la información necesaria para hacerlo.

En casi todas las cuencas se registra una disminución en la precipitación promedio de un 29 por ciento. Sin embargo, eso no explica todo el cambio en las cuencas. “Si uno analiza lo que está pasando desde el año 1985 al 2015, se va sintiendo poco a poco el efecto que tiene la disminución de las precipitaciones, pero hay otros factores, como el cambio de uso del suelo, que no hemos analizado”, señaló, en declaraciones emitidas en la web de Universidad de Chile, Ximena Vargas, hidróloga y académica del Departamento de Ingeniería Civil de la FCFM, quien lideró el estudio.

De acuerdo con los investigadores esta situación se debe por un aumento en la demanda de usuarios de agua, cambios en el uso de suelo y variaciones climáticas.

En este sentido, Juan Pablo Boisier, climatólogo de la Universidad de Chile e investigador del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, indicó que, “En esta crisis entran

varios factores en juego. Además del cambio climático y de la variabilidad natural de la precipitación, también está el tema de que la industria agrícola se ha expandido mucho y tiene un consumo de agua muy grande, aunque todavía nos faltan estudios que cuantifiquen bien todos estos problemas”.

Todas estas disminuciones en la disponibilidad de agua a nivel nacional proveen un futuro completo, una oferta acotada de este bien básico y escaso como el agua.

#### **4.4 Un futuro más seco**

De acuerdo con la actualización del Balance Hídrico Nacional, en casi la totalidad de las cuencas más importantes de las macrozonas estudiadas está disminuyendo el caudal de los ríos, tendencia que se proyecta, continuará en el futuro.

Al respecto, la Dirección General de Aguas del MOP acaba de aclarar en su último informe hidrometeorológico que todos los embalses entre las cuencas del río Limarí y del Maipo mantienen un déficit respecto a sus volúmenes históricos de octubre. Especialmente crítica es la situación de los embalses Aromos y Peñuelas (Región de Valparaíso), los cuales no solo se encuentran bajo sus promedios mensuales, sino que presentan una situación peor que el 2019. De hecho, Aromos presenta un déficit de -63%.

“A esta realidad hay que sumar que la demanda de agua desde distintos sectores continúa presionando a todo el sistema hídrico del país. Lamentablemente, el suministro de agua para la población depende de los acuerdos a los que logren llegar los privados y no de una política pública que garantice el agua como un derecho humano básico”, señalaron desde Greenpeace (Greenpeace, 2020).

Una posible solución es la reutilización de aguas servidas para reemplazar algún proceso del sistema humano.

#### **4.5 Aguas servidas**

El término agua servidas define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales.

El manejo de estas aguas es tan importante que requiere sistemas de canalización, tratamiento y disposición de estas. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de salud en la población (Chicaiza, 2015, p.14)

Estas aguas se conforman típicamente de un 99,9 % de agua y un 0,1 % de contaminantes, de los cuales, alrededor de 60 a 80 % se disuelven y el resto queda como materia en suspensión. Dentro de estos contaminantes se encuentran elementos tóxicos, materia orgánica e inorgánica, organismos vivos, entre otros, por lo tanto, es necesario su recolección para el posterior tratamiento y finalmente, su disposición o reutilización. Cabe destacar que la generación de aguas servidas es proporcional con la cantidad de agua potable consumida.

Dentro de la legislación chilena actual, la ley 21.075 del año 2018, "establece y regula los sistemas de reutilización de las aguas grises, aplicable a áreas urbanas y rurales". La reutilización y disposición de aguas grises, hace algunas de las distinciones de aguas servidas que se presentan a continuación:

**Aguas grises:** aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.

**Aguas grises tratadas:** aquellas que se han sometido a los procesos de tratamiento

requeridos para el uso previsto.

Aguas negras: aguas residuales que contienen excretas.

Aguas residuales: aquellas que se descargan después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso.

Aguas servidas domésticas: aguas residuales que contienen los desechos de una edificación, compuestas por aguas grises y aguas negras.

En general, todas las aguas ya utilizadas, sean residuales, domesticas, grises, negras inclusive sin ser necesario un segundo uso, deben ser tratadas.

#### **4.6 Aguas servidas tratadas**

Actualmente existe la tendencia de agrupar los métodos de tratamiento de aguas servidas, en dos grandes grupos e independientemente de la eficiencia remocional de la carga orgánica: operaciones y procesos unitarios.

En el primer caso predomina la aplicación de principios físicos y en el segundo la actividad química o biológica.

En el pasado, los procesos y las operaciones unitarias se agrupaban bajo la denominación de tratamiento primario, secundario y terciario. En el tratamiento primario se agrupaban las operaciones del tipo físico, en el secundario los procesos biológicos de asimilación de la materia orgánica y el término terciario o tratamiento avanzado se ha aplicado a las operaciones y procesos utilizados para eliminar contaminantes no removidos por el tratamiento primario o secundario.

La selección del proceso de tratamiento depende del uso al cual se le destinará al efluente tratado, la naturaleza del agua residual, la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos,

los medios disponibles de evacuación de los contaminantes finales y la posibilidad económica de las distintas combinaciones.

Cabe destacar que cada tecnología utiliza los tratamientos necesarios para obtener la calidad final deseada y no necesariamente se debe realizar todos los procesos descritos.

A continuación, se detalla una pequeña descripción de los niveles de tratamiento de aguas servidas:

**Preliminar:** Remoción de elementos como trapos, palos, flotadores, arenilla y grasa que pueden causar problemas de mantenimiento u operativos con las operaciones de tratamiento, procesos y sistemas auxiliares.

**Primario:** Remoción de una parte del material sólido y orgánico suspendido de las aguas residuales.

**Primario avanzado:** Remoción mejorada de sólidos en suspensión y materia orgánica de las aguas residuales. Normalmente se logra mediante la adición de productos químicos o la filtración.

**Secundario:** Remoción de materia orgánica biodegradable (en solución o suspensión) y sólidos en suspensión. La desinfección también se incluye normalmente en la definición de tratamiento secundario convencional.

**Secundario con remoción de nutrientes:** Remoción de nutrientes y sólidos suspendidos orgánicos biodegradables (nitrógeno, fósforo o tanto nitrógeno como fósforo).

**Terciario:** Remoción de sólidos en suspensión residuales (después del tratamiento secundario), generalmente mediante filtros de medio granular, filtros de tela o micro pantallas.

La desinfección también suele formar parte del tratamiento terciario. La eliminación de nutrientes a menudo se incluye en esta definición.

Avanzado: Remoción de materiales disueltos y suspendidos que quedan después del tratamiento biológico normal cuando sea necesario para diversas aplicaciones de agua.

Independiente del tipo de tratamiento a emplear en las aguas servidas para su posterior reutilización, es importante cumplir con los estándares y normativas vigentes, que están en línea con el tipo de utilización del agua servida tratada.

#### **4.7 Reutilización de aguas servidas tratadas**

El potencial reúso de las aguas servidas requiere un tratamiento adecuado, dependiendo del objetivo deseado. Esto conlleva una serie de beneficios, pero también conlleva un riesgo asociado a nivel sanitario y medioambiental debido a los componentes que puedan estar presentes en el agua residual, como microorganismos patógenos y contaminantes químicos tóxicos. Este riesgo asociado se ha de controlar para poder reutilizar el agua de la manera más segura posible (Alcalde, 2012)

Desde un punto de vista técnico, existen diferentes tipos de reúso de aguas servidas tratadas, los cuales están relacionados con la forma en que se obtienen dichas aguas y su finalidad de uso. Según las terminologías proporcionadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en 2012, encontramos los siguientes tipos de reúso:

Reúso no potable: Este tipo de reúso implica utilizar el agua tratada para fines que no requieren consumo humano directo. Algunos ejemplos de reúso no potable incluyen el riego de parques, campos de golf, áreas verdes, lavado de vehículos, procesos industriales y recarga de

acuíferos.

Reúso potable indirecto: En este caso, el agua tratada se utiliza como fuente de abastecimiento para la producción de agua potable, pero no se distribuye directamente a los consumidores. El agua tratada se mezcla con agua cruda en una fuente de agua natural (río, lago, embalse) antes de someterse a un proceso de tratamiento convencional para producir agua potable.

Reúso potable directo: Este tipo de reúso implica tratar el agua servida de manera avanzada para cumplir con los estándares de calidad requeridos para el consumo humano directo. El agua tratada se distribuye directamente a los consumidores para su uso en actividades domésticas, comerciales e industriales.

Es importante tener en cuenta que el reúso de aguas servidas tratadas debe cumplir con los estándares de calidad establecidos y seguir prácticas adecuadas de gestión y monitoreo para garantizar la seguridad y protección de la salud pública.

La reutilización del agua se justifica por diversas razones, entre las cuales se encuentran:

Escasez del suministro de agua: La reutilización de aguas servidas tratadas permite hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos, especialmente en áreas donde existe escasez de agua.

Urbanización: El crecimiento de las áreas urbanas genera una mayor demanda de agua, y la reutilización de aguas servidas puede ser una alternativa para satisfacer esa demanda creciente.

Uso eficiente de los recursos: Reutilizar el agua tratada reduce la dependencia de fuentes

de agua fresca, como ríos o acuíferos, lo que contribuye a una gestión más sostenible y responsable de los recursos hídricos.

**Factores ambientales:** La reutilización de aguas servidas puede tener beneficios ambientales al reducir la descarga de aguas residuales en cuerpos de agua naturales, minimizando así el impacto negativo en el medio ambiente.

**Protección de la salud pública:** Es fundamental garantizar que el agua tratada para reutilización cumpla con estándares de calidad adecuados para proteger la salud pública. Se deben establecer criterios y protocolos para asegurar que el agua reutilizada sea segura para su uso previsto.

En cuanto a los usos de las aguas servidas tratadas, existen diversas categorías de aplicación, pero los criterios más importantes para determinar la calidad final del agua están relacionados con la protección de la salud pública y las necesidades de los agricultores.

Es necesario establecer estándares más rigurosos que los utilizados para la simple disposición de aguas servidas, debido a la relación directa con el consumo humano.

#### **4.8 Reutilización agrícola (riego) con aguas servidas tratadas.**

A nivel global el 8 % del agua necesaria se usa a nivel doméstico, el 22 % se lo lleva la industria y el 70 % la agricultura, los productos que más contribuyen a la huella hídrica del consumidor global son los cereales (27 %), seguidos de la carne (22 %) y de los productos lácteos (7 %). (De la Torre, 2017, p.51).

En el caso de Chile, el sector agropecuario es el principal consumidor de agua, con un promedio de 252,46 m<sup>3</sup>/s de agua consuntiva. El sector silvoagropecuario ha experimentado un

significativo crecimiento impulsado por las exportaciones, lo cual ha contribuido al desarrollo económico del país, sin embargo, la escasez de agua para riego y consumo animal, así como la falta integral del recurso hídrico, han dificultado el desarrollo de esta actividad, además, los problemas con los derechos de agua han generado un mercado basado en la especulación. En este contexto, la reutilización de aguas servidas se presenta como una alternativa para aumentar la disponibilidad del recurso hídrico.

En el ámbito de la agricultura, las áreas regadas en la agricultura continúan aumentando de manera constante a un ritmo aproximado del 5% cada 10 años, estas actividades de riego tienen como objetivo utilizar el agua de manera eficiente en la superficie de los cultivos, el incremento en las áreas regadas refleja la importancia de optimizar el uso del recurso hídrico en la agricultura para garantizar la producción de alimentos y satisfacer la creciente demanda agrícola.

La tecnificación del riego ha desempeñado un papel importante en el uso eficiente del agua en la agricultura. A través de avances tecnológicos y sistemas de riego más sofisticados, se ha logrado optimizar el uso del recurso hídrico en las actividades agrícolas.

Existen diversos métodos de riego disponibles, y la elección del método más adecuado para cada situación requiere considerar una serie de criterios y factores. Algunos de los aspectos a tener en cuenta incluyen el tipo de cultivo que se va a regar, las características del suelo, la topografía del terreno, la disponibilidad del recurso hídrico, las condiciones climáticas y otros factores locales.

Cada método de riego tiene sus ventajas y limitaciones, y su elección dependerá de las características específicas de la zona y de los cultivos a regar. Algunos ejemplos de métodos de riego incluyen el riego por gravedad, el riego por aspersión, el riego por goteo y el riego

subterráneo. Cada uno de estos métodos tiene diferentes eficiencias en términos de uso de agua y distribución uniforme en los cultivos.

Es importante considerar todos estos criterios y antecedentes para seleccionar el método de riego más apropiado, con el fin de maximizar la eficiencia en el uso del agua y lograr una irrigación adecuada que satisfaga las necesidades hídricas de los cultivos sin desperdiciar recursos.

Otro punto importante, al igual que el método de riego en la agricultura, es la protección o seguridad humana, para lo cual es necesario analizar la normativa vigente.

#### **4.9 Normativas para la reutilización de aguas servidas**

Las normativas referentes al reúso de aguas servidas pueden variar según el país y la región.

A continuación, mencionaré algunas normativas y directrices internacionales y nacionales que abordan el tema:

Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS): La OMS ha establecido directrices para el uso seguro del agua residual en la agricultura y en la recarga de acuíferos, estas directrices proporcionan pautas sobre los parámetros de calidad del agua y los requisitos de tratamiento necesarios para proteger la salud pública.

Directrices de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA): La EPA ha emitido directrices y estándares para el reúso de aguas residuales tratadas en diferentes aplicaciones, como riego de cultivos, parques y campos de golf, recarga de acuíferos y usos industriales. Estas directrices establecen criterios de calidad del agua y pautas para el tratamiento

y manejo adecuados.

Normativas nacionales: Cada país puede tener sus propias regulaciones y normativas relacionadas con el reúso de aguas servidas. Estas normativas pueden abordar aspectos como la calidad del agua, los métodos de tratamiento, los usos permitidos, los requisitos de monitoreo y los estándares de seguridad.

Es importante destacar que estas normativas y directrices están en constante evolución y pueden variar en diferentes contextos geográficos.

#### **4.10 Normativa nacional**

Dentro del marco legal asociado al reúso de aguas servidas, se destacan leyes, decretos y normativas de carácter obligatorio y voluntario. Algunas de las normativas relevantes son:

Decreto Supremo 90/2000: Establece la "Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales". Esta norma es fundamental para determinar la calidad de las aguas servidas que se descargan en cuerpos de agua superficiales y marítimos, ya que tiene un impacto directo en el ecosistema expuesto.

Decreto Supremo 46/2002: Establece la "Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas". Este decreto regula las descargas de residuos líquidos en aguas subterráneas, estableciendo límites y requisitos para proteger la calidad de estas fuentes de agua.

Decreto Supremo 609/98: Establece la "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado". Este decreto regula las descargas de residuos líquidos industriales en sistemas de

alcantarillado, estableciendo estándares y requisitos para proteger la calidad del agua.

La norma NCh 1.333, publicada en 1978 y modificada en 1987, establece los requisitos de calidad que debe tener el agua para diferentes usos. Estos usos incluyen el agua para consumo humano, bebida de animales, recreación y estética, vida acuática y riego. Aunque esta norma no hace distinción entre aguas crudas y aguas servidas, hace referencia a las normativas de agua potable.

En el caso del reúso de aguas servidas, es necesario establecer los antecedentes de calidad de agua requeridos para poder determinar la tecnología de tratamiento adecuada que permita alcanzar la calidad necesaria. Esto implica analizar los parámetros y límites establecidos en la normativa de agua potable, así como considerar otros factores específicos relacionados con el uso previsto de las aguas tratadas.

En el caso del uso del agua en riego, es importante tener en cuenta tanto las normativas relacionadas con el tratamiento y disposición de aguas servidas como las normativas específicas para el riego agrícola.

Una vez que las aguas servidas han sido tratadas y cumplen con los requisitos establecidos en las normativas de emisión para su disposición en cauces superficiales y continentales, es posible obtener un agua de calidad óptima para su uso inmediato en el riego de ciertos cultivos.

Para asegurar la compatibilidad entre las normativas, es necesario considerar los estándares de calidad establecidos tanto para las aguas servidas tratadas como para el agua de riego. Esto implica evaluar los parámetros de calidad del agua, tales como los niveles aceptables

de contaminantes, nutrientes y otros elementos que puedan afectar la salud de las plantas, el suelo y el medio ambiente.

Además, es importante seguir las recomendaciones y directrices de las autoridades competentes en cuanto a la utilización de aguas tratadas en el riego agrícola. Estas directrices pueden establecer restricciones específicas sobre los cultivos que se pueden regar con aguas servidas tratadas, así como pautas de aplicación y monitoreo para garantizar un uso seguro y eficiente del recurso hídrico.

En el contexto de la escasez de agua en el país, se ha trabajado en el desarrollo de nuevas normativas relacionadas con la reutilización de aguas servidas tratadas. Un primer avance se produjo en el año 2018, con la promulgación de un conjunto de normas que abarcan el uso de aguas grises.

Entre estas normas destaca la Ley 21.075, que actualmente está en vigencia y regula la recolección, reutilización y disposición final de aguas grises. Las aguas grises son las aguas residuales domésticas provenientes de bañeras, duchas, lavaderos, lavamanos y otros, excluyendo las aguas negras. La ley establece los procedimientos y consideraciones necesarias para su uso en diferentes aplicaciones, como el riego de plantas ornamentales, el riego de campos deportivos y el uso en inodoros. Sin embargo, prohíbe su uso en aplicaciones relacionadas con el consumo humano.

Además de esta ley, se continúa avanzando en la generación de normas técnicas y lineamientos para la reutilización de aguas servidas tratadas. Algunas de las normas ya aprobadas incluyen:

Norma de calidad primaria para el riego de cultivos agrícolas. Norma de calidad primaria

para la recarga de acuíferos.

Norma de calidad primaria para el uso industrial.

Norma de calidad primaria para el uso recreacional en contacto primario.

Estas normas establecen los criterios y requisitos técnicos para asegurar la calidad del agua tratada y su aptitud para diferentes usos específicos. De esta manera, se busca promover una mayor seguridad y eficiencia en la reutilización de aguas servidas tratadas, contribuyendo así a la gestión sostenible del recurso hídrico en el país. Entre las ya aprobadas se encuentran las siguientes normas:

NCh3465 (2020). Reúso de agua en áreas urbanas - Directrices para el reúso y evaluación de seguridad - Métodos y parámetros para su evaluación.

NCh3456/1 (2021). Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego - Parte 1: La base de un proyecto de reúso para riego.

NCh3456/2 (2021). Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego - Parte 2: Desarrollo del proyecto.

NCh3456/3 (2021). Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego - Parte 3: Componentes de un proyecto de reúso para riego.

NCh3456/4 (2021). Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego - Parte 4: Seguimiento.

NCh3462/1 (2021). Reúso de agua en zonas urbanas - Directrices para un sistema centralizado de reúso de agua - Parte 1: Principio de diseño de un sistema centralizado de reúso de agua.

NCh3462/2 (2021). Reúso de agua en zonas urbanas - Directrices para un sistema centralizado de reúso del agua - Parte 2: Gestión de un sistema centralizado de reúso del agua.

NCh3674 (2021). Definiciones Reúso de agua - Vocabulario.

NCh3482 (2021). Directrices para la evaluación y gestión de riesgos para la salud en el reúso de aguas servidas tratadas.

NCh3483 (2021). Directrices para la clasificación del grado de calidad del agua para el reúso de agua.

NCh3580 (2019). Reutilización de aguas lluvias y aguas grises. Selección de sistemas de reutilización.

NCh3581 (2018). Reutilización de agua residual de origen doméstico para consumo municipal. Calidad estándar del agua regenerada para el consumo municipal misceláneo de agua.

NCh3582 (2018). Reutilización de agua residual de origen doméstico - Calidad estándar del agua regenerada para irrigación de áreas verdes.

NCh3583 (2018). Reutilización de Agua residual de origen doméstico. Definiciones y clasificación estándar.

Actualmente, el trabajo en relación con la reutilización de aguas servidas tratadas sigue en curso, y se están desarrollando un conjunto de normas específicas relacionadas con su uso en riego. Estas normas tienen como objetivo establecer directrices, procedimientos, consideraciones y estándares de calidad para garantizar un uso eficiente y óptimo del agua tratada en actividades de riego.

Según la información proporcionada por la página del Instituto Nacional de

Normalización (INN), estas normas se encuentran actualmente en tramitación. Esto significa que están en proceso de elaboración, revisión y consulta, con la participación de expertos y partes interesadas relevantes, antes de su aprobación y publicación oficial.

Es importante destacar que estas normas en tramitación tienen como finalidad proporcionar lineamientos técnicos claros y actualizados para promover un uso seguro y sostenible de las aguas servidas tratadas en el riego agrícola. Su eventual aprobación contribuirá a fortalecer el marco normativo y facilitar la implementación de prácticas de reutilización de agua de manera eficiente y responsable, en beneficio tanto del sector agrícola como del medio ambiente.

Las siguientes normas están en tramitación:

NCh3435: Esta norma se refiere a las "Actividades de servicio relacionadas con el suministro de agua potable, aguas residuales y sistemas de aguas pluviales - Vocabulario". Su objetivo es establecer un conjunto de términos y definiciones que se utilizan en el ámbito de los servicios de agua potable, aguas residuales y sistemas de aguas pluviales. La norma busca proporcionar un marco común de entendimiento y facilitar la comunicación y el intercambio de información entre los diferentes actores involucrados en estas actividades.

NCh3452: Esta norma se centra en el "Reúso de aguas residuales tratadas para riego - Directrices para la adaptación de sistemas y prácticas de riego a aguas residuales tratadas". Su objetivo es proporcionar directrices y recomendaciones técnicas para la adaptación de sistemas y prácticas de riego al uso de aguas residuales tratadas. La norma busca promover un uso eficiente y seguro del agua tratada en actividades de riego, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, ambientales y de salud pública relacionados con la reutilización de aguas servidas tratadas.

Ambas normas se encuentran en proceso de tramitación, lo que implica que están siendo revisadas, discutidas y sometidas a consulta pública antes de su aprobación final. Una vez aprobadas, estas normas proporcionarán orientaciones técnicas y estándares para la gestión adecuada y segura de las aguas residuales tratadas en el ámbito de los servicios de agua potable y el riego agrícola.

Una característica fundamental en los países que han avanzado en el desarrollo del reúso de aguas servidas tratadas es contar con un apoyo normativo sólido que promueva y establezca estándares adecuados para su implementación. Estas normativas proporcionan un marco legal claro y brindan confianza a los actores involucrados en el proceso.

En el caso de Chile, es importante destacar que la Corte Suprema otorgó facultades a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) en 2011 para resolver sobre la obligación de las empresas sanitarias de descargar aguas tratadas en los cauces naturales. Sin embargo, hasta el momento no existe una regulación expresa que aborde específicamente el tema del reúso de aguas servidas tratadas.

Esto indica que, si bien existe un marco legal para el tratamiento y disposición de aguas residuales, no se ha establecido una regulación específica que promueva y regule de manera detallada el reúso de estas aguas tratadas en diversas aplicaciones, como el riego agrícola u otros usos compatibles.

En este sentido, la falta de una regulación expresa puede representar un desafío para la implementación y promoción del reúso de aguas servidas tratadas en el país. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, se están desarrollando normas en tramitación que buscan abordar el tema del reúso y proporcionar directrices y estándares para su aplicación en actividades como el

riego. Estas normas podrían brindar un marco normativo más completo y actualizado en relación con el reúso de aguas servidas tratadas en Chile.

La regulación normativa para la disposición de aguas servidas es de gran importancia desde el punto de vista ambiental, ya que tiene un impacto directo en el cuerpo de agua receptor.

La implementación del Decreto Supremo 90/2000 ha sido un avance significativo en la mejora de la calidad de las aguas que se vierten en los distintos cauces.

El DS90/2000 establece normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Esta normativa establece requisitos y estándares que deben cumplir los sistemas de tratamiento de aguas servidas para asegurar una adecuada calidad del agua antes de su disposición en los cuerpos receptores.

Esta regulación tiene como objetivo proteger la calidad de los cuerpos de agua receptores y minimizar los impactos negativos de las aguas servidas en el medio ambiente a través de la implementación de normas y estándares, se busca garantizar una adecuada gestión y tratamiento de las aguas servidas, promoviendo así la protección ambiental y la preservación de los recursos hídricos.

#### **4.11 Balance de oferta y demanda de aguas por región.**

Para obtener una visión general de la disponibilidad del agua en el país, se analiza el balance hídrico nacional a nivel regional. Este balance entrega la oferta y demanda de agua, en el cual fueron evaluadas diferentes variables hidrológicas como escorrentía, precipitación y evapotranspiración.

En la figura 1 se presentan los resultados respecto a la situación actual y futura del balance (Arancibia, 2022, p20).

### Figura 1

*Oferta y demanda de agua por región en base a balance hídrico, periodo actual 1985-2015 y proyectado 2030.*

Región	Balance actual [m <sup>3</sup> /s] Periodo 1985-2015			Balance futuro [m <sup>3</sup> /s] Proyección 2030		
	Oferta	Demanda	Balance	Oferta	Demanda	Balance
Arica y Parinacota	67	38	30	63	33	30
Tarapacá	45	102	-57	35	124	-89
Antofagasta	83	175	-92	59	213	-154
Atacama	73	54	19	56	62	-5
Coquimbo	187	332	-146	166	441	-275
Valparaíso	168	156	12	140	169	-29
Metropolitana	243	139	104	217	165	52
O'Higgins	321	230	91	275	270	5
Maule	858	551	307	685	646	39
Biobío	1640	733	907	1193	844	349
Araucanía	1654	620	1035	1432	705	727
Los Ríos	1364	481	883	1228	547	680
Los Lagos	3883	909	2973	3505	1038	2467
Aysén	8194	874	7320	7695	1010	6685
Magallanes	En revisión					

*Nota:* La tabla muestra el balance actual y proyectado de aguas por región, tomado de Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2020.

Se puede apreciar que, en la actualidad, la oferta hídrica en las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Coquimbo se ve sobrepasada por la demanda, situación que se acrecienta en el escenario futuro de cambio climático (año 2030) añadiéndose, además, las regiones de Atacama y Valparaíso.

#### **4.12 Plantas de tratamiento de aguas servidas.**

Las aguas servidas son transportadas hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de cumplir con las normativas sanitarias, el marco legal y las regulaciones ambientales, para su posterior disposición o reutilización. Para garantizar la calidad requerida, se lleva a cabo un proceso de tratamiento de las aguas, el cual varía según el sistema o tecnología utilizada. En Chile, se emplean diversos métodos de tratamiento de aguas servidas, siendo los más comunes los lodos activados, las lagunas aireadas y los emisarios submarinos. Cada uno de estos métodos posee características distintas y se utilizan en función de las necesidades y condiciones específicas de cada planta de tratamiento.

Es importante destacar que el objetivo principal de estos procesos es eliminar o reducir los contaminantes presentes en las aguas servidas, como sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes y patógenos, con el fin de proteger la salud pública y preservar el medio ambiente. Los lodos activados, por ejemplo, implican la utilización de microorganismos para descomponer y eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales. Las lagunas aireadas, por su parte, utilizan la aireación y la acción de microorganismos para descomponer los componentes orgánicos de las aguas.

Los emisarios submarinos, a su vez, son sistemas que permiten la descarga controlada de las aguas tratadas en el mar, evitando así la contaminación de cuerpos de agua superficiales.

Cabe destacar que la elección del método de tratamiento de aguas servidas dependerá de diversos factores, como la capacidad de la planta de tratamiento, las características de las aguas residuales, los recursos disponibles y las regulaciones ambientales vigentes.

La mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales generan aguas tratadas que

posteriormente se reutilizan de forma indirecta o directa. Esto significa que estas aguas tratadas no necesariamente constituyen una nueva fuente de agua, a excepción de los emisarios submarinos y las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) ubicadas en zonas costeras. En estos casos, las aguas tratadas se descargan directamente en el mar o en cuerpos de agua cercanos al mar, lo que limita su posible reutilización como fuente de agua directa o indirecta.

Por lo tanto, para evaluar las potenciales zonas de reutilización de aguas residuales tratadas, es necesario analizar específicamente los emisarios submarinos y las PTAS costeras a nivel regional. Estos sistemas de tratamiento y disposición de aguas servidas en zonas costeras deben ser evaluados considerando las características y requisitos particulares de cada región.

Es importante destacar que la reutilización de aguas tratadas ya sea de forma indirecta (por ejemplo, para riego agrícola) o directa (para usos industriales o incluso como agua potable), puede ser una alternativa sostenible y beneficiosa en términos de gestión de recursos hídricos.

Sin embargo, se requiere un análisis detallado de las condiciones locales, las regulaciones y los estándares de calidad del agua, así como la aceptación social y la implementación de tecnologías apropiadas para garantizar la seguridad y la protección de la salud pública.

#### **4.13 Emisarios submarinos y PTAS costeras.**

Para evaluar el aporte de los sistemas de tratamiento al reúso de aguas tratadas, es fundamental identificar sus ubicaciones a nivel regional. Esto permitirá evaluar de manera precisa el potencial de reúso de las aguas servidas.

**Figura 2**

*Caudal efluente de emisarios submarinos y PTAS costeras del año 2020.*

<b>Región</b>	<b>Emisarios submarinos m<sup>3</sup>/s</b>	<b>PTAS Costeras m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Total m<sup>3</sup>/s</b>
Arica y Parinacota	0,40	0,00	0,40
Tarapacá	0,58	0,15	0,72
Antofagasta	0,89	0,11	0,99
Atacama	0,03	0,07	0,10
Coquimbo	0,94	0,00	0,94
Valparaíso	3,07	0,18	3,22
Metropolitana	0,00	0,00	0,00
O'Higgins	0,00	0,04	0,04
Maule	0,00	0,13	0,13
Bío Bío + Ñuble	1,10	1,50	2,60
Araucanía	0,00	0,05	0,05
Los Ríos	0,00	0,38	0,38
Los Lagos	0,81	0,29	1,10
Aysén	0,00	0,00	0,00
Magallanes	0,39	0,09	0,48
<b>Total</b>	<b>8,21</b>	<b>2,94</b>	<b>11,15</b>

*Nota:* La tabla muestra el volumen de agua potencial para reúso por ciudad, tomado de (DGA, 2017).

#### **4.14 Aporte de las aguas servidas tratadas en zonas potenciales.**

Con base en los antecedentes recopilados, se observa que a medida que nos desplazamos desde la región del Bío Bío + Ñuble hacia el norte, la demanda de agua supera la disponibilidad hídrica, lo que representa una preocupación importante. Especialmente en la zona norte, algunas regiones enfrentan una demanda que excede la disponibilidad de agua.

Además, al considerar el caudal de efluente generado por los emisarios submarinos y las PTAS costeras, es necesario evaluar detalladamente su impacto en la disponibilidad y gestión del recurso hídrico en estas zonas.

#### **4.15 Reúso de aguas servidas tratadas en riego.**

Como se ha mencionado previamente, el sector agrícola representa la demanda más significativa de agua a nivel nacional, siendo la primera o segunda actividad con mayor requerimiento hídrico. Esto destaca el amplio potencial de aplicación del reúso de aguas servidas tratadas en el sector agrícola, particularmente en el riego.

En este sentido, resulta crucial analizar las superficies destinadas al riego en las regiones con potencial, a fin de evaluar la viabilidad y oportunidades de implementar proyectos de reúso de aguas tratadas. Estos análisis permitirán identificar las áreas que podrían beneficiarse de manera más efectiva de esta práctica sostenible.

Para determinar el rendimiento superficial del riego utilizando aguas servidas tratadas, es necesario considerar varios factores, como la tasa de riego asociada al sistema de riego utilizado, el tipo de cultivo, la presión del agua, entre otros. En este caso, se supone el uso de un sistema de riego tecnificado, como el goteo o la microaspersión, con una tasa de riego de 0,5 litros por segundo por hectárea (una estimación conservadora, aunque también se pueden considerar tasas de riego más eficientes, como la utilizada por Fundación Chile en 2016 de 0,25 litros por segundo por hectárea). Además, se supone una necesidad de riego constante.

Con estos parámetros, se pueden obtener las superficies regadas utilizando aguas servidas tratadas, sin embargo, al obtener la superficie regada en cada región, es importante analizar la ubicación de las zonas de riego cercanas a la costa. Esto se debe a que el costo de transporte de agua es elevado, lo que hace que no sea factible regar superficies muy alejadas de las zonas costeras.

Además, es relevante destacar que actualmente se está llevando a cabo un nuevo censo agrícola, lo que permitirá analizar de manera actualizada las zonas de cultivo y riego de cada región para evaluar el potencial de riego con aguas servidas tratadas.

#### **4.16 Experiencias de reúso de aguas servidas tratadas**

Si bien el reúso de aguas servidas está presente desde que se inició el saneamiento, de forma directa, indirecta o hasta indirecta sin saneamiento, se considera que el uso de aguas servidas en la agricultura comenzó en países como Australia, Francia, Alemania, India, Reino Unido y en Estados Unidos a finales del siglo XIX, este proceso fue nombrado como “cultivo con aguas negras” (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2006).

Comúnmente, se estima que un 20 % de las aguas servidas reciben tratamientos a nivel mundial, sin embargo, un estudio reciente estima una producción de 359,4 millones de m<sup>3</sup>/año de aguas servidas, de las cuales un 63 % se recolecta y un 52 % se trata, lo que se traduce en 188,1 millones de m<sup>3</sup>/año aproximadamente (Jones et al., 2021).

La cuantificación de tratamiento se puede disgregar por el nivel ingresos, donde se tratan cerca del 70 % en países de altos ingresos, 38 % en países con ingresos medios-altos, 28 % en países con ingresos medio-bajo y 8 % en países con ingresos bajos. Chile se destaca en el tratamiento de aguas servidas a nivel mundial.

#### **4.17 Experiencia Internacional Israel**

Bañado por el mar Mediterráneo de un lado, por el mar Muerto de otro y con un 60% de su superficie formada por tierras desérticas, Israel se ha convertido en una de las referencias mundiales en la gestión de sus recursos hídricos. El país de Oriente Medio ha ido más allá en su

lucha contra la escasez de agua y ha conseguido tener más agua de la que necesita gracias a dos claves como la desalinización y a la reutilización del líquido elemento: el 90% de las aguas depuradas se reusa para la agricultura y un 85% del agua desalinizada se usa en los hogares (Yaben,2023).

“Israel es un país con clima semiárido con recursos hídricos insuficientes, lo cual ha llevado a Israel a buscar alternativas para satisfacer la demanda hídrica.

Ya desde 1960 el país reusaba el 10 % de sus aguas servidas llegando al año 2015 a un 85% de reutilización” (Arancibia, 2022, p.31)

“Israel desarrolló innovadoras tecnologías para el uso eficiente de riego, convirtiéndose en líder en la agricultura de alto rendimiento. La agricultura representa el 60 % del agua utilizada en el país de las cuales más de la mitad se compone de aguas servidas tratadas” (Kassa y Anduaem, 2020).

## **España**

A nivel europeo, España lidera en la reutilización de aguas servidas tratadas con un 10,74 % del total en comparación a la media europea de 2,4 %.

El agua servida tratada generada por las plantas de tratamiento se utiliza principalmente en agricultura (62 %), riego de zonas verdes (20 %) y la industria (7 %). Según los datos entregados por el INE, en el año 2019 el volumen de reutilización de aguas servidas tratadas fue de 1.350.536 m<sup>3</sup> de un total generado de 12.949.076 m<sup>3</sup> (Méndez, 2019), lo cual es realizado por más de 2.000 plantas de tratamiento de aguas servidas del país (Dirección de aguas España, 2020), (Arancibia, 2022).

#### **4.18 Experiencia Nacional Región de Coquimbo**

Para la primera experiencia de reúso en la Región de Coquimbo, se escogió la PTAS de Cerrillos de Tamaya, la cual cuenta con la mayor cantidad de requisitos habilitadores para la implementación de esta iniciativa.

La planta de tratamiento de aguas servidas de Cerrillos de Tamaya se emplaza en la localidad del mismo nombre, en la provincia del Limarí, Región de Coquimbo.

La planta fue construida en 2005, financiada por un Fondo Nacional de Desarrollo Regional, utilizando un terreno de aproximadamente 1.000 m<sup>2</sup>. Es administrada por el Comité de Agua Potable Rural (APR) de Cerrillos de Tamaya, organización comunitaria sin fines de lucro con participación voluntaria por parte de sus socios.

Este comité administra, opera y mantiene el servicio de agua potable en la localidad, además del sistema de tratamiento construido para depurar las aguas servidas que la comunidad genera. La localidad posee un sistema de alcantarillado que transporta las aguas servidas domiciliarias de aproximadamente 2.900 habitantes hacia la PTAS de Cerrillos de Tamaya, generando un caudal de aguas servidas tratadas constante de aproximadamente 6 l/s.

La planta es un sistema de tratamiento secundario de lodos activados, el que corresponde a una serie de procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, consistente en el desarrollo de un cultivo bacteriano en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado continuamente con aguas residuales, siendo capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en el afluente (Ramalho, 1990).

El efluente generado por la PTAS de Cerrillos de Tamaya cumple con la norma de emisión establecida en la tabla 1 del Decreto Supremo 90/2000, la cual regula las descargas de

residuos líquidos a cuerpos o masas de aguas superficiales y marinas, estableciendo límites permisibles que deben ser cumplidos antes de la descarga del efluente al punto establecido por la autoridad.

Como se mencionó anteriormente, esta norma de calidad es suficiente para generar aguas con calidad de riego. La PTAS cuenta con un operador permanente, el que se encarga de operar, mantener y velar por que la calidad de las aguas residuales tratadas cumpla con la normativa establecida, alertando de forma temprana en caso de generarse problemas para solucionarlos a tiempo.

El sistema de tratamiento se encuentra aledaño a aproximadamente 50 metros de terrenos agrícolas aptos para cultivo, el que cuenta con un sistema de acumulación (tranque) de aproximadamente 3.000 m<sup>3</sup> de capacidad además de una caseta de riego, posibles de utilizar para la implementación del proyecto de reúso.

El agricultor dueño del terreno es un poblador con amplia experiencia en temas de manejo agrícola, quien expresó interés en hacerse cargo del sistema.

Las positivas condiciones del sistema sumado al interés de la comunidad de desarrollar el proyecto llevaron a generar un acuerdo entre el agricultor y la administración de la PTAS, estableciendo un modelo de distribución de ganancias con compromisos de ambas partes.

Por un lado, la administración de la PTAS se hace responsable de operar de manera óptima el sistema de tratamiento, generando aguas con calidad de riego (cumplimiento de DS90/2000), mientras que el agricultor adquiere el compromiso de hacerse cargo íntegramente de la operación y funcionamiento del sistema de reúso, además de gestionar la venta del producto agrícola generado, entregando un porcentaje de las ventas a la administración para que esta

invierta los recursos en mejoras de la planta.

Estos acuerdos fueron planteados en asamblea a un grupo representativo de la localidad de Cerrillos de Tamaya, además de los beneficios que el reúso implica a nivel económico, ambiental y social para la comunidad, siendo aprobada la implementación del proyecto de reutilización de aguas residuales tratadas. (Fundación Chile, 2018)

#### **4.19 Factibilidad Legal Gestión de aguas en Chile.**

En Chile, los aspectos referentes al agua y su gestión están dispuestos bajo lo escrito en el Código de Aguas de 1981.

En este contexto, se presentan las aguas, según el título II artículo 5 de Código de Aguas, como bienes nacionales de uso público, los cuales se pueden usar o gozar de ellos mediante el otorgamiento de derechos de aprovechamientos, comúnmente conocidos como derechos de aguas.

Estos derechos de aprovechamiento de aguas son del dominio del titular, es decir, forman parte de un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en su uso y goce.

En el artículo 589 del Código Civil, el cual define la legalidad chilena, describe los bienes nacionales de uso público como bienes cuyo dominio pertenece a la nación y su uso a todos los habitantes de esta, y posteriormente en el artículo 595 también se enuncia a las aguas como bienes nacionales de uso público y que su uso pertenece a todos los habitantes de la Nación.

Cabe destacar que las aguas reguladas que se mencionan anteriormente en el Código de Aguas son aguas terrestres (corrientes o detenidas) y subterráneas, quedando fuera de dichas

regulaciones las aguas marinas pertenecientes al país.

Los derechos de aprovechamiento de agua pueden ser consuntivos, es decir, que su titular puede consumir la totalidad de las aguas en cualquier actividad, o no consuntivos, es decir, utilizar el agua sin consumirla y es obligatorio restituirla según se acuerde.

Por otra parte, en la Constitución Política de la República de Chile de 1980, la cual regula el funcionamiento del Estado, establece en el artículo 19 N°24 el derecho de propiedad de los titulares con respecto a los derechos de los particulares sobre las aguas según lo establecido conforme la ley.

Por lo que los derechos de aprovechamiento forman parte de la propiedad privada del usuario y, aun rigiéndose conforme a lo escrito en el código de aguas sobre su extracción y fiscalización, deja de ser parte de todos los integrantes de la nación al momento de ser otorgado a un solo particular con el título de derecho de aprovechamiento.

Es de importancia precisar que la repartición de los derechos de aprovechamiento se realiza en la búsqueda de la regularización del uso y consumo del agua por parte del Estado hacia los usuarios, sin embargo, se puede atribuir la prevalencia del derecho de propiedad por sobre otros usos del agua.

Cabe señalar que ante la existencia de conflictos por parte de privados y usos prioritarios de agua, es deber del Estado ponerse de parte del beneficio o necesidad de la nación, bajo la premisa de bien nacional de uso público, no obstante, no se presenta ningún tipo de priorización en las leyes estudiadas y solo se respalda el resguardo de la propiedad privada.

Si bien los derechos de aprovechamiento de aguas son otorgados según la necesidad del usuario, no se exige respaldo ante lo presentado.

El otorgamiento de estos derechos se realiza de forma gratuita y son concedidos por perpetuidad y deben estar bajo la fiscalización de la Dirección General de Aguas (DGA), la cual debe estar, en teoría, en conocimiento de los caudales utilizados y los no utilizados para la asignación de los derechos y el cumplimiento de caudal ecológico de la fuente de agua. (Perez, 2022, p.44-45).

El Código de Aguas chileno (“CA”) fue recientemente objeto de una profunda reforma, tras más de una década de tramitación en el Congreso (Proyecto de Ley Boletín N.º 7.543-2012 que se concretó en la Ley N.º 21.435 publicada en el Diario Oficial de la República de Chile el 6 de abril de 2022), en que se discutieron intensas modificaciones a este cuerpo normativo, que es considerado como uno de los más liberales del mundo (Jaque, 2022, p.193).

La presente ley reforma el Código de Aguas, reconociendo el acceso al agua y saneamiento como un derecho humano esencial e irrenunciable, que debe ser amparado por el estado; y que se trata de un bien nacional de uso público, cuyo dominio y uso pertenecen a todos los habitantes de la nación. Consagra que siempre prevalecerá el uso para el consumo humano, el uso doméstico de subsistencia y el saneamiento, tanto en el otorgamiento como en la limitación al ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas. En el caso de los territorios indígenas, el Estado velará por la integridad entre tierra y agua, y protegerá las aguas existentes para beneficio de las comunidades indígenas, de acuerdo con las leyes y a los tratados internacionales ratificados por Chile y que se encuentren vigentes.

En cuanto a los derechos de aprovechamiento de aguas: La ley lo define como un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce temporal de ellas, de conformidad con las reglas, requisitos y limitaciones que el Código prescribe. Tendrán un carácter temporal y serán otorgados a través de una concesión. Su duración será de 30 años, pero dependerá tanto de la

disponibilidad de la fuente de abastecimiento como de la sustentabilidad del acuífero.

Se prorrogará por el solo ministerio de la ley y sucesivamente, a menos que la Dirección General de Aguas (DGA) acredite, mediante una resolución fundada, el no uso efectivo del recurso o que existe una afectación a la sustentabilidad de la fuente que no ha podido ser superada. Se constituirán en función del interés público, para lo cual habrá que considerar el resguardo del consumo humano y el saneamiento, la preservación del ecosistema, la disponibilidad de las aguas, la sustentabilidad acuífera y, en general, aquellas acciones destinadas a promover un equilibrio entre eficiencia y seguridad en los usos productivos.

Los derechos de aprovechamiento podrán extinguirse por el no uso efectivo del recurso, total o parcialmente, lo que deberá ser determinado por la DGA mediante resolución. En el caso de los derechos de aprovechamiento consuntivos el plazo de extinción será de cinco años, y en el caso de aquellos de carácter no consuntivos será de diez años.

Los derechos caducarán si no se inscriben en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces. En el artículo segundo transitorio se establece que los derechos de aprovechamientos de aguas constituidos por acto de autoridad competente, y que a la fecha de publicación de esta ley no estuvieren inscritos en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces correspondiente, deberán ser inscritos, a petición de sus titulares, en el referido registro.

Transcurrido el plazo de dieciocho meses contado desde la publicación de esta ley, los Conservadores de Bienes Raíces no admitirán a trámite la inscripción de los derechos de aprovechamiento de que trata este inciso, los cuales caducarán por el solo ministerio de la ley.

La ley sustituye el concepto de dueño de los derechos de aprovechamiento, por el de

titular de estos.

Prohíbe la constitución de derechos de aprovechamiento en glaciares, como asimismo en las áreas declaradas bajo protección oficial para la protección de la biodiversidad, como los parques nacionales, reserva nacional, reserva de regiones vírgenes, monumento natural, santuario de la naturaleza, humedales de importancia internacional.

Asimismo, la ley regula otras materias, entre las que cabe señalar las siguientes:

1. Todas las cuencas deberán contar con un Plan Estratégico de Recursos Hídricos, respondiendo a la necesidad de disponer de mejor información y una mirada de largo plazo para conocer la disponibilidad actual y proyectada del agua de las cuencas e implementar una cartera de acciones. Se mandata a la DGA la elaboración de Planes Estratégicos de Recursos Hídricos para cada una de las cuencas del país en un plazo máximo de 10 años y su posterior actualización.
2. Adecua las atribuciones y funciones que corresponden a la Dirección General de Aguas, fortaleciendo la potestad sancionatoria, y modernizando sus procedimientos administrativos, permitiendo el uso de tecnologías.
3. Respecto de los derechos de aprovechamiento de aguas por otorgar, la DGA velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, para lo que establecerá un "caudal ecológico mínimo", el cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial. Un reglamento, que será firmado por los ministros del Medio Ambiente y de Obras Públicas, determinará los criterios en virtud de los cuales se establecerá.
4. Para asegurar el ejercicio de las funciones de subsistencia y de preservación

ecosistémica, el Estado podrá constituir reservas de aguas disponibles, superficiales o subterráneas. Sin perjuicio de lo anterior, como consecuencia del término, caducidad, extinción o renuncia de un derecho de aprovechamiento, las aguas quedarán libres para ser reservadas por el Estado, de conformidad con lo dispuesto en este artículo, y para la constitución de nuevos derechos sobre ellas. Sobre dichas reservas, la Dirección General de Aguas podrá constituir derechos de aprovechamiento para los usos de la función de subsistencia.

5. Incorpora disposiciones sobre aguas subterráneas, definiendo como acuífero aquella formación geológica que contiene o ha contenido agua bajo la superficie de la tierra y posee la capacidad de almacenar y transmitir agua. Las aguas subterráneas contenidas en él son bienes nacionales de uso público, sin perjuicio de la titularidad del dominio de este subsuelo. La ley regula la posibilidad de ejecutar obras para recargar artificialmente un acuífero, con la limitación de no producir con ello perjuicios a terceros.
6. Refuerza la facultad del presidente de la República de declarar, a petición y con informe de la DGA, zonas de escasez hídrica ante una situación de severa sequía, por un período máximo de un año, prorrogable sucesivamente, previo informe de la citada Dirección.
7. Una vez declarada, la DGA podrá exigir a la o las juntas de vigilancia respectivas la presentación de un acuerdo de redistribución de las aguas, dentro del plazo de quince días corridos contado desde la declaratoria de escasez.
8. La ley regula la declaración por parte de la DGA de "áreas de restricción" y de "zonas

de prohibición" para nuevas explotaciones. En ellas, los titulares de los derechos de aprovechamiento concedidos deberán instalar y mantener un sistema de medición de caudales y volúmenes extraídos, de control de niveles freáticos y un sistema de transmisión de la información que se obtengan, a la DGA. La declaración o el alzamiento de las áreas de restricción y de las zonas de prohibición se publicarán en el sitio web de la DGA y en el Diario Oficial.

9. Crea el Fondo para la Investigación, Innovación y Educación en Recursos Hídricos, dependiente del Ministerio de Obras Públicas, y que se ejecutará a través de la Dirección General de Aguas, constituido por los aportes que se consulten anualmente en la Ley de Presupuestos de la Nación, destinado a financiar las investigaciones necesarias para la adopción de medidas para la gestión de recursos hídricos y, en particular, para la elaboración, implementación y seguimiento de los planes estratégicos de recursos hídricos en cuencas; debiendo sus recursos distribuirse entre las regiones del país, para la elaboración de dichos planes. (Ley 21.435, 2022).

#### **4.20 Empresas de servicios sanitarios.**

La historia de la gestión sanitaria en Chile se remonta a los años 1830 con las primeras reformas por parte del Estado, mediante la constitución 1833 y posteriormente la de 1925, para entregar servicios de agua a la población (Libertad y Desarrollo, 2019).

Sin embargo, es a partir de finales del siglo XX, donde comienza los cambios, reformas y leyes que dan paso al servicio sanitario que se conoce actualmente en el país.

El Estado fue el encargado del sector sanitario en el país hasta finales de los años 80, cuyos costos se solventaban con el Presupuesto General de la Nación. Posteriormente, dada la

necesidad de grandes inversiones en el tratamiento de aguas residuales y residuos industriales líquidos (riles), y la experiencia obtenida de la privatización de otros sectores de servicios básicos, comenzó el proceso de privatización del sector sanitario (Celedon y Alegría, 2004).

Para regular la operación por parte de privados y estatales sobre el sector se promulgaron diversas leyes entre las cuales se encuentra el Decreto de Fuerza de Ley (DFL) n° 382 “Ley General de Servicios Sanitarios” en 1988, en el cual establece las disposiciones de explotación, operación, concesión y fiscalización de los servicios sanitarios y la ley n° 18.902 en 1990 la cual crea un ente fiscalizador llamado Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Con esto se da inicio a una nueva etapa sanitaria en el país, que se mantiene en la actualidad, la cual logró agilizar y mejorar las coberturas de agua potable y saneamiento en zonas urbanas, y en especial el tratamiento de aguas servidas. Dentro de lo descrito en el DFL 382, para que una empresa sanitaria adquiera la concesión solicitada debe realizar los siguientes servicios públicos: producción y distribución de agua potable, recolección y disposición de aguas servidas.

De esta forma, las concesiones encargadas del sector tienen como objetivo el establecimiento, construcción y explotación de los servicios públicos mencionado anteriormente.

Para el otorgamiento de la concesión sanitaria se exige, según art n° 18 del DFL 382, lo siguiente: identificación de la concesionaria, el tipo de concesión que se otorga, las condiciones de prestación de servicios, normativa general aplicable a la concesión, programa de desarrollo, el nivel tarifario de adjudicación de la concesión y las ganancias involucradas.

Cabe destacar que las empresas concesionadas deben contar con los derechos de aprovechamiento de carácter consuntivos, permanentes y continuos la cual debe abastecer la zona de concesión; cualquier otro tipo de derechos de aguas debe ser aprobado por la SISS.

De esta forma, el sistema implantado y que perdura hasta hoy consiste en que las empresas de servicios sanitarios se realizan bajo un sistema de concesiones en la cual el Estado le otorga la administración del sector sanitario a los entes particulares, con el fin de explotar los servicios públicos de producción y distribución de agua potable, y recolección y disposición de aguas servidas, por un periodo determinado.

Por lo que cada empresa sanitaria debe regirse bajo lo dispuesto en las normativas y exigencias vigentes entregadas por el Estado. (Arancibia, 2022)

#### **4.21 Propiedad de las aguas servidas tratadas.**

Las nuevas reformas y regulaciones implementadas por el Estado en el sector sanitario buscaban, entre otras cosas, mejorar y agilizar el proceso de tratamiento de aguas servidas, que en el año 1989 alcanzaba solamente un 8 % (Celedon y Alegría, 2004).

Dentro de las principales razones de iniciar e invertir en el tratamiento de aguas residuales se encuentran las exigencias ambientales en los tratados de libre comercio con países de otros continentes, las cuales Chile no cumplía (Celedon y Alegría, 2004) y razones de sanidad, lo cual provocaba un alto porcentaje de enfermedades asociadas a la contaminación de los cultivos y playas sin utilizar.

De esta forma, a comienzos del año 2000, se comenzó un plan de saneamiento con el fin de eliminar de forma gradual todas las descargas de aguas residuales sin tratamiento en distintos cauces (Díaz De Valdés Balbontín, 2015) y, además, se promulga la norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (DS 90/2000), que aceleró aún más dicho proceso (Baraño y Tapia, 2004).

Este panorama generó un nuevo conflicto respecto al agua, la identificación del uso y dominio de las aguas servidas tratadas, problemática que se desarrolló en un comienzo entre los históricos usuarios de las aguas servidas, como canalistas y regantes, quienes vieron disminuidos sus caudales ya que utilizaban las aguas servidas sin tratar indirectamente aguas abajo de los puntos de descarga; y las empresas sanitarias, quienes advirtieron en las aguas servidas tratadas potenciales usos o negocios, como la venta, intercambio con otros bienes o servicios, entre otros (Díaz De Valdés Balbontín, 2015).

Los usuarios históricos de estas aguas las habían recibido desde el comienzo mediante los derrames de aguas servidas sin tratar por parte de las sanitarias que se mezclaban con el cauce natural o artificial en el cual tenían sus derechos de aprovechamiento, por lo que dichas aguas ya eran utilizadas como un adicional respecto a los derechos ya otorgados.

Disminuidos los caudales de estos usuarios, comienza el debate sobre la obligatoriedad de las empresas sanitarias para efectivamente disponer esas aguas en algún cauce.

Como ya se mencionó, las empresas sanitarias trabajan en el servicio sanitario a modo de concesión, por lo cual, dentro de lo estipulado en los artículos 5 y 7 de DFL n° 382 las concesiones tienen entre sus objetivos la explotación de los servicios sanitarios en el cual se encuentra el servicio público de disposición, el cual tiene como objetivo disponer de las aguas servidas.

Dicha disposición no establece de forma expresa la obligatoriedad de descarga, lo que, sumado a la mejora en la calidad de las aguas servidas, se abrió paso a las potenciales ideas de reúso de las empresas sanitarias.

Por lo tanto, para conocer las facultades que tiene la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), las empresas sanitarias, canalistas y usuarios del agua en general sobre las

aguas servidas es necesario analizar el marco legal y social aplicable en torno a la propiedad de las aguas servidas tratadas.

A continuación, se presentan definiciones y términos legales que serán utilizados e interpretados por las diferentes posturas existentes sobre la legalidad de las aguas.

Dentro del marco legal que rige al sector sanitario sobre la disposición de las aguas, se encuentra el artículo 61 del DFL 382: “Para los efectos de lo dispuesto en el Título V del Código de Aguas, entiéndese que los prestadores de servicios sanitarios abandonan las aguas servidas cuando éstas se evacúan en las redes o instalaciones de otro prestador o si se confunden con las aguas de cauce natural o artificial, salvo que exista derecho para conducir dichas aguas por tales cauces, redes o instalaciones.” El artículo anterior se relaciona el capítulo V del Código de Aguas referente a derrames, el artículo 43 dispone que: “Constituyen derrames las aguas que quedan abandonadas después de su uso, a la salida del predio.

Se presume el abandono de estas aguas desde que el dueño del derecho de aprovechamiento hace dejación de ellas, en los linderos de la propiedad, sin volver a aprovecharlas.” y el artículo 45: “La producción de derrames estará sujeta a las contingencias del caudal matriz y a la distribución o empleo que de las aguas se haga en el predio que los origina, por lo cual no es obligatoria ni permanente.”. Además, los artículos 54 y 55 del Código de Agua expresan que, no constituye gravamen o servidumbre que afecte al predio que los produce.

Son actos de mera tolerancia que no confieren posesión ni dan fundamento a prescripción” y “Los derechos, gravámenes o servidumbres sobre derrames y drenajes sólo pueden constituirse a favor de terceros, por medio de un título. Ni aun el goce inmemorial bastará para constituirlos. (Arancibia, 2022)

#### **4.22 Posición de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).**

Dentro de las primeras interpretaciones entregada por la SISS, se encuentran los Oficios Ordinarios n°1422 en el año 1995, n°587 en el año 1996, n°767 en el año 1999 y n°196 en el año 2002, donde se expresaba que la propiedad de las aguas servidas tratadas pertenecían al patrimonio de las empresas sanitarias y podían someterlas a actos jurídicos libremente pactados en precio y forma, ya que sostenía que mientras las aguas no fueran abandonadas y siendo una actividad relacionada, las empresas podían usar, gozar y disponer de ellas como estimaran conveniente (Peralta Anabalón, 2021).

A pesar de esto, se volvió a estudiar sus oficios debido a la sentencia de la Corte Suprema que confirmaba la competencia de interpretación de normativa sectorial contenida DFL 382 49 por parte de SISS, por lo que mediante el oficio n°2725 del año 2011 la SISS reanalizó su postura frente el dominio de las aguas servidas, específicamente frente al marco normativo del artículo 61 de la LGSS, concluyendo que es una norma derecho público (normas para regir las relaciones entre particulares y los organismos públicos), por lo que debe interpretarse restrictivamente y es aplicable a las aguas servidas que se descargan a cauces naturales o artificiales (excluye otros cuerpos receptores como descargas al mar).

Por lo tanto, el servicio de tratamiento de aguas está perfectamente regulado, fiscalizado y tarifado por la autoridad competente (Peralta Anabalón, 2021).

Es por ello que, bajo el marco de concesión, las empresas sanitarias deben destinar las aguas servidas al cuerpo receptor, sometidos a las normas respectivas, en el punto de descarga definido para su concesión, lugar donde la SISS ejerce fiscalización sobre la calidad de las aguas.

Sin embargo, el oficio acepta un posible reúso de las aguas servidas tratadas (parcial o

total) en infiltración de napas y/o posterior utilización de las mismas, si sus fines están dentro del ciclo sanitario, es decir, producción de agua potable, situación debidamente evaluada en un acto administrativo correspondiente.

La SISS no puede interpretar que las empresas sanitarias sean las dueñas en base al artículo 61 de la LGSS, dado que no es constitutivo de derechos, ni da a la SISS la competencia de declararlo.

Concluyendo que las empresas sanitarias no eran dueñas de las aguas servidas en las cuales ejercía sus servicios por su título de concesión, señalando que el destino de las aguas debe ser el cuerpo receptor establecido en la concesión, asociando al pago del tratamiento por parte de los usuarios de servicios sanitarios (Peralta Anabalón, 2021; SISS, 2015; DIAgua, 2019).

De esta forma, si la empresa sanitaria quisiese dar algún uso diferente a la disposición en algún cuerpo receptor ya establecido, se debe establecer dentro de los decretos de la concesión, y por lo tanto exige estar regulado y fiscalizado por la autoridad competente, y también, si dichas aguas son tratadas mediante el pago de los usuarios de los servicios sanitarios para que estas sean dispuestas de forma segura al medio ambiente (libre de contaminación al medio), debe efectuarse compensaciones tarifarias a los usuarios equivalente a las ganancias de la empresa sanitaria (Peralta Anabalón, 2021; SISS, 2015; DIAgua, 2019).

Con respecto a las tarifas, estas incluyen todas las inversiones y gastos necesarios para la provisión del servicio de los servicios de producción y distribución de agua potable, y recolección, disposición y tratamiento de aguas servidas y también incluye el valor de los derechos de agua etapas, según lo entregado a través de Ley de Transparencia de Información.

Finalmente, puesto que la SISS tiene como misión garantizar a los clientes de los

servicios sanitarios recibir un servicio de calidad y de acuerdo con la normativa vigente en las zonas de su cada concesión, con un precio justo y que el agua una vez utilizada sea dispuesta de forma compatible con un desarrollo sustentable, se presentan a continuación una sub-postura referente a las obligaciones y expectativas de los clientes sobre los servicios sanitarios, que la SISS debe asegurar. (Arancibia, 2022)

#### **4.23 Clientes de las empresas sanitarias.**

Los propietarios de inmuebles urbanos edificados se convierten en clientes de las empresas de servicios sanitarios cuando forman parte de los servicios entregados por la misma, es decir, acceso de agua potable y alcantarillado en el área donde la empresa presta sus servicios.

Al recibir este servicio público el cliente tiene derecho a recibir un servicio continuo y de calidad, conocer las tarifas respectivas, ser atendido oportunamente, entre otros.

Así mismo, tienen la obligación de pagar la cuenta de los servicios utilizados, en relación con la cantidad utilizadas, por lo que el cliente es consciente de que los servicios entregados por la empresa sanitaria son: producir agua potable y distribuirla hasta los arranques de aguas; recolectar, tratar y disponer las aguas ya utilizadas.

Según el artículo 39 del DFL 382: “Todo propietario de inmueble urbano edificado, con frente a una red pública de agua potable o de alcantarillado, deberá instalar a su costa el arranque de agua potable y la unión domiciliaria de alcantarillado, dentro del plazo de seis y doce meses, respectivamente, contado desde la puesta en explotación de dichas redes, o desde la notificación respectiva al propietario, por parte de la concesionaria. , por lo que se desprende que es obligatorio utilizar las redes, tanto de agua potable como de alcantarillado, de la empresa sanitaria de la zona,

con todas las obligaciones y deberes dispuestas conforme a la Ley.

Por lo tanto, el cliente percibe las aguas servidas como un desecho por el que paga para que estos sean dispuestos de forma ambientalmente segura. Sin embargo, si estas aguas no fueran de su propiedad al salir de sus dependencias, el pago de los servicios de recolección y tratamiento no correspondería a un derecho por parte del cliente. (Arancibia, 2022)

#### **4.24 Posición de las Empresas de Servicios Sanitarios, Concesiones.**

La posición que presenta las empresas de servicios sanitarios ha sido constante a través del tiempo, asegurando su propiedad de las aguas servidas.

Las empresas del sector sanitario están representadas por la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS A.G.), la cual agrupa a 22 empresas de agua potable y saneamiento, abasteciendo con sus servicios a 364 localidades urbanas del país.

Se sostiene que las aguas servidas son propiedad de las empresas sanitarias, que no existe la obligación de restitución de dichas aguas, dado que no se establece de forma expresa dentro de los artículos 5 y 7 de DFL, y por lo que la exigencia administrativa o legal sería inconstitucional (Peralta Anabalón, 2021).

De esta forma, el dominio y titularidad de las aguas servidas sólo se altera al realizar un abandono voluntario de dichas aguas, es decir, que se constituyan como derrames (Vergara Blanco, 2020), siendo esto una extensión de propiedad que se tienen respecto a los derechos de aprovechamiento (Díaz De Valdés Balbontín, 2015).

Por lo tanto, mientras las aguas permanezcan en sus instalaciones no puede ser obligado a restituir algo que es de su propiedad, y quitar dichas aguas sería inconstitucional, ya que según

el artículo 24 de la Constitución: Nadie puede, en caso alguno, ser privado de su propiedad, del bien sobre que recae o de algunos de los atributos o facultades esenciales del dominio, sino en virtud de ley general o especial que autorice la expropiación por causa de utilidad pública o de interés nacional, calificada por el legislador. (Peralta Anabalón, 2021) y (Vergara Blanco, 2020).

Por otro lado, se expresa que las empresas sanitarias adquieren el dominio de las aguas por ocupación, es decir, dominio que se realiza cuando las cosas carecen de dueño. Unos de los argumentos presentados señala que si se consideran que los derechos de aprovechamiento consuntivos, pertenecientes a las empresas sanitarias y que tienen como fin de ser utilizados en los servicios sanitarios, se agotan con su uso, al ser convertidos en agua potable y entregarlas al cliente que las consumen completamente, estos derechos ya no existirían ya que fueron utilizados en su totalidad por el cliente, y por ende, no pueden ser consideradas como bienes nacionales de uso público ni sería posible constituir derechos sobre ellas (Ortega, 2021).

Por lo tanto, lo que abandona el cliente es un desecho (residuo del agua potable) y las empresas sanitarias adquieren por ocupación con el deber de disponerlo responsablemente (Ortega, 2021) y (Peralta y Anabalón, 2021).

También, se señala lo referente a las prestaciones relacionadas con la disposición de aguas servidas que operan como servicios no regulados, como la venta de aguas servidas tratadas que se mencionó anteriormente dentro del marco tarifario. Así, concluyen que las empresas sanitarias pueden disponer de uso y goce de las aguas servidas tratadas, ya que esto corresponde a un acto lícito y legítimo, y perteneciente a una prestación relacionada con los servicios sanitarios de la empresa (Peralta Anabalón, 2021) y (Vergara Blanco, 2020).

Así, se presenta como una práctica administrativa concreta al reconocimiento de la

propiedad de dichas aguas y, finalmente, el dominio de las aguas por parte de las empresas sanitarias sólo cambia al momento de hacer abandono de estas y no es posible la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas sobre los derrames dichos de aguas (Vergara Blanco, 2020).

Un caso concreto de en este ámbito, es el ocurrido con la empresa sanitaria de Aguas Chañar S.A., quienes efectuaron ventas de aguas servidas tratadas a la Compañía Contractual Minera Candelaria, hecho que no fue informado a la SISS. La empresa sanitaria actuó en consideración el derecho de propiedad que había declarado anteriormente la SISS.

Posteriormente y dada las últimas aclaraciones por parte de las SISS con los oficios del 2011, las prestaciones de la venta recayeron dentro de los servicios no regulados de la empresa, lo que se evidencia en las Bases Definitivas del Estudio Tarifario de la empresa (Ballivian Searle, 2018) y (DIAgua, 2019).

Además, la Dirección General de Aguas (DGA), ente de importancia en temas de la información hídrica del país, entregó su interpretación sobre el tema de propiedad de las aguas servidas tratadas mediante el oficio n°575 del año 2001, donde expresó que la posición de titularidad y dominio de dichas aguas, corresponde a la empresa sanitaria propietaria de las instalaciones, las aguas que el usuario final consume y deriva como aguas servidas a los alcantarillados corresponden a un verdadero derrame, las aguas al tener la calidad de derrame y ser vertidas en instalaciones de las empresas sanitarias, estas pueden disponer libremente de las mismas como los propietarios que son y, finalmente, estas aguas se entenderán abandonadas solamente cuando se evacúen en las redes de otro prestador o se confundan con las aguas que escurren en cauces naturales o artificiales, en el lugar que estimen conveniente (DIAgua, 2019) y (Vergara Blanco, 2020). (Arancibia, 2022)

#### **4.25 Procedimiento para el reúso de aguas servidas tratadas.**

Dentro de lo estipulado en el oficio n°2725 del año 2011 y n° 4278 del año 2018 por parte de la SIIS, la disposición de las aguas servidas o su tratamiento para la evacuación en cuerpos receptores en condiciones ambientales y sanitarias establecidas por el DS90/2000, es considerada como un servicio regulado, por lo cual es necesario que dicha disposición se realice en el punto de descarga acordado previamente en el decreto de concesión, es decir, está bajo la regulación, fiscalización y tarificación por parte de la autoridad.

Sin embargo, se incentiva el reúso parcial o total de las aguas servidas tratadas dentro del mismo ciclo sanitario, ya sea por medio de infiltración de napas o reutilización directa, y así producir agua potable reiniciando el ciclo sanitario, todo lo anterior bajo términos y condiciones previstos en el acto administrativo correspondiente.

Por otra parte, las aguas servidas tratadas que son dispuestas al mar a través de emisarios submarinos y que deben cumplir con el DS90/200, su reutilización es considerada como una actividad no regulada dentro del marco de concesión.

Dado lo anterior, para poder reutilizar las aguas servidas tratadas es necesario modificar la disposición de las aguas servidas, tanto en el decreto de concesión como Ficha de Antecedentes Técnicos y programa de desarrollo, lo cual se realizará mediante:

- Resolución fundada de la Superintendencia de Servicios Sanitarios
- Trámites de toma de razón Ajustes y consideraciones establecidas
- Guía Técnica de Elaboración de los Planes de Desarrollo
- Estudios, autorización y permisos (si corresponde)
- Modificación en Plan de Desarrollo

## V. METODOLOGÍA

Con el propósito de señalar los aspectos metodológicos de esta investigación cuyo objetivo general es analizar la factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas para ser aplicado en riego agrícola y enfrentar el déficit hídrico en la región de Valparaíso se ha estructurado el presente apartado que muestra el posicionamiento científico utilizado y aspectos metodológicos inherentes como tipo, nivel y diseño de investigación, la población y muestra y los pasos para llevarla a cabo.

Bajo esta premisa, el presente estudio encaja dentro del tipo aplicado considerando el grado de abstracción del mismo y se estudia un fenómeno real; con su desarrollo se busca aportar soluciones a un problema práctico, manteniendo una generalización limitada y presentando como alternativa de solución métodos ya existentes sobre un caso particular (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Así mismo, la investigación se ajusta a un diseño exploratorio, considerando la naturaleza del trabajo y el tema de estudio, en este se miden algunas variables necesarias para el desarrollo de los objetivos establecidos; la investigación es descriptiva, pues se caracteriza en un fenómeno estableciendo su comportamiento (Arias, 2012), en este caso, durante su desarrollo del estudio se van detallando aspectos requeridos para llevar a cabo el análisis de factibilidad; el estudio se fundamenta en la experiencia que el investigador ha venido adquiriendo acerca del estudio de factibilidad, reúso de aguas residuales, en interpretación y análisis de normas pertinentes; con este conocimiento se pretende hacer aportes de utilidad a la problemática que se plantea relacionada con el déficit hídrica en Chile, particularmente en Valparaíso.

En este sentido y teniendo presente que el recurso hídrico es de gran importancia, entre otros, este puede ser empleado como alternativa de riego de las áreas agrícolas dado el contexto de escasez; así, con la experiencia durante la formación profesional y la información aportada por la literatura se puede ahondar en el estudio de factibilidad del reúso de aguas residuales para la actividad agrícola.

Bajo esta perspectiva y con el fin de dar consecución al primer objetivo específico, evaluar las zonas potenciales para el reúso de aguas servidas tratadas mediante técnicas de geolocalización para cuantificar la demanda potencial de agua de riego se realiza una revisión bibliográfica, con esta se obtiene una visión general con respecto a la disponibilidad del agua y las zonas potenciales para el reúso de aguas residuales; también se debe hacer un análisis del balance hídrico en el país y en la región, de esta forma, se consigue información acerca de la oferta y demanda del recurso y se evalúan las distintas variables, entre ellas escorrentía, precipitación y evapotranspiración. Asimismo, se requiere identificar el aporte de los sistemas de tratamientos, al igual que su ubicación en la región para determinar el suministro real de aguas residuales, haciendo uso durante el proceso de métodos de geolocalización.

Seguidamente, para llevar a cabo el segundo objetivo específico, investigar experiencias internacionales de reúso de aguas servidas tratadas mediante técnicas de investigación de mercado para validar tecnologías utilizadas en el tratamiento de agua, se ha efectuado una revisión bibliográfica buscando conocimiento acerca de la forma en que se reutiliza el agua servida y los avances de este proceso en el tiempo; se indaga con respecto a las técnicas utilizadas en dicho proceso y la relación implícita costo - beneficio.

En cuanto al tercer objetivo específico, analizar la propiedad de las aguas servidas tratadas en Chile, mediante investigación jurídica con el fin de estudiar la factibilidad legal del

uso de este recurso y su cumplimiento, se hace una revisión del marco normativo jurídico, esta se debe complementar haciendo alusión a experiencias internacionales relacionadas con la temática y casos con similar jurisprudencia.

Por último, una vez que se dé cumplimiento a los objetivos específicos, se lleva a cabo también el objetivo general, analizar la factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas para ser aplicado en riego agrícola y enfrentar el déficit hídrico en la región de Valparaíso, se toma en cuenta toda la información previamente aportada y se analiza la temática desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y, algún otro, que se considere pertinente.

Durante la investigación se ha considerado necesario, recolectar información relacionada con parámetros permisibles del agua residual para su reúso en actividades agrícolas. En consecuencia, se logran establecer las características mínimas indispensables que permiten la reutilización del agua residual en sistema de riego.

El desarrollo metodológico de esta investigación ha requerido la realización de los siguientes pasos:

- 1) Recolección datos y parámetros de calidad de agua mediante la revisión de la “Legislación Ambiental Secundaria” (TULAS).

- 2) Establecimiento del consumo de agua necesario para el riego agrícola, lo que implica determinar la cantidad de agua requerida en esta actividad, información que puede obtenerse a partir de la literatura en este caso específico.

- 3) Para el estudio de factibilidad se toma en cuenta información sobre parámetros permisibles para la reutilización el agua, las características indispensables admisibles en el agua residual y su posterior reúso en cultivos.

Para hacer la sistematización del estudio de factibilidad conviene recolectar información sobre la demanda de agua necesaria para el riego, se proyecta el diseño de un sistema que permita reutilizar el agua residual para el riego agrícola. Para esto se debe conocer la cantidad de agua tratada y la que se requiere para riego, se considera entonces la factibilidad de un diseño de sistema para almacenamiento (cisterna, tanque), una estación de bombeo que ha de ser integrada al sistema de riego.

Para hacer análisis de la relación costo – beneficio se verifica el costo que implica conectar con el sistema de riego y los beneficios que esto puede generar. Por su parte, se debe llevar a cabo el análisis del beneficio ambiental, dado que la propuesta de desarrollo sostenible, genera además de beneficios económicos, la disminución del uso del recurso hídrico mediante el reúso de aguas residuales, logrando resultados iguales y sin modificar el desarrollo de próximas generaciones al difundir resultados exitosos de este tipo de experiencias.

### **5.1 Población y Muestra**

La población beneficiada es equivalente a la totalidad de los habitantes de la región de Valparaíso, esta se caracteriza por tener una geografía compleja y un clima templado mediterráneo, que va cambiando en la medida en que se hace un barrido a lo largo de la misma, tiene numerosos afluentes de agua, tales como ríos Petorca, La Ligua, Aconcagua y la desembocadura del río Maipo (BCN, s.f.). La región está comprendida por 8 provincias claramente diferenciadas por diferentes actividades económicas, entre ellas, minería, pesca, agricultura, además de otras no menos importantes. Es de resaltar, que el área agrícola, de particular importancia para esta investigación ha sido favorecida por su suelo y el sistema de canales existentes

## **VI. RESULTADOS**

### **6.1 Evaluación de las zonas potenciales para el reúso de aguas servidas tratadas mediante técnicas de geolocalización**

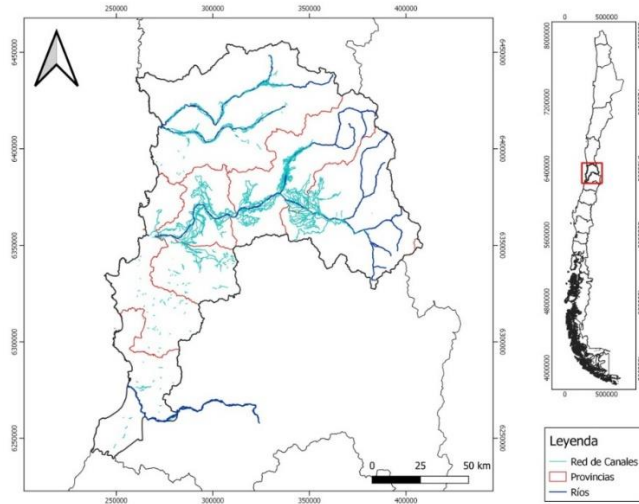
La Región de Valparaíso se ubica entre los 32° 02' y 33° 57' de latitud sur y entre los meridianos 70° y 72° W; se encuentra en la zona central del país chileno, limita con la Región de Coquimbo al norte, con la Región Metropolitana al sudeste y con la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins al sur; en los límites este y oeste se encuentra Argentina.

La región posee una superficie total de 16.396,10 km<sup>2</sup> extensión que equivale el 0,8% del territorio nacional. De acuerdo al Censo del año 2017 la población asciende a 1.815.902 habitantes, su densidad es de 110,75 habitantes por km<sup>2</sup>. En relación al relieve y clima, la zona se caracteriza por ser semiárida-cálida a templada. Desarrolla una vegetación variada dada la humedad y relieve, estos elementos permiten que se desarrollen los sistemas hidrográficos andino y costero.

La Región presenta diversidad de cursos hídricos gracias al relieve y las precipitaciones, entre ellos se encuentran los ríos Petorca (riego en el Valle de Petorca); La Ligua (riega un sector del valle de La Ligua); Aconcagua ((actividades mineras, riego del valle a lo largo de todo su recorrido; instalaciones industriales; abastecimiento de agua potable al área intercomunal de Valparaíso) y la desembocadura del río Maipo (Figura 3). De igual manera, se tiene la existencia de hoyas hidrográficas menores provenientes de la Cordillera de la Costa y que se alimentan de las lluvias (BCN, s.f) (Figura 4).

**Figura 3**

*Red de canales de Valparaíso*



Nota: tomado de [https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index\\_html](https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index_html)

**Figura 4**

*Mapa físico Región de Valparaíso*

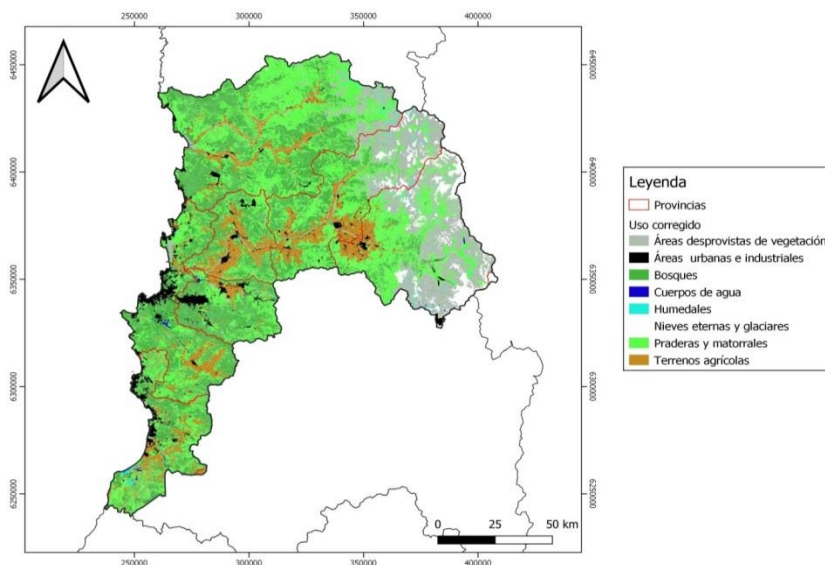


Nota: Tomado de <http://www.vregion.cl/geografia.php>

Con respecto al uso que se le da al suelo en la Región de Valparaíso, estos se muestran en la Figura 5 y Tabla 1, de esta manera se resaltan los bosques, praderas y matorrales, terrenos sin vegetación y terrenos agrícolas.

**Figura 5:**

*Uso de los suelos de Valparaíso*



Nota tomado de BCN (s.f.)

**Tabla 1**

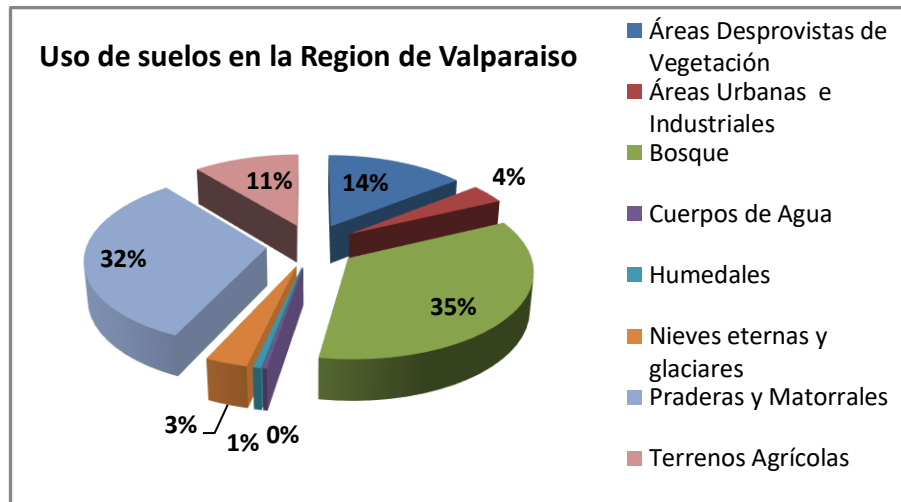
*Superficie y porcentaje de uso de suelo de la región de la Valparaíso*

Categoría uso de suelo	Superficie [ha]	Porcentaje
Áreas Desprovistas de Vegetación	229.739,68	14,4 %
Áreas Urbanas e Industriales	58.504,81	3,7 %
Bosque	553.598,14	34,6 %
Cuerpos de Agua	5.264,31	0,3 %
Humedales	9.850,77	0,6 %
Nieves eternas y glaciares	52.290,03	3,3 %
Praderas y Matorrales	514.610,17	32,2 %
Terrenos Agrícolas	174.908,7	10,9 %
<b>Total</b>	<b>1598766,61</b>	<b>100 %</b>

Nota tomado de (INE, 2007).

**Figura 6**

*Proporción de uso de los suelos de Valparaíso*

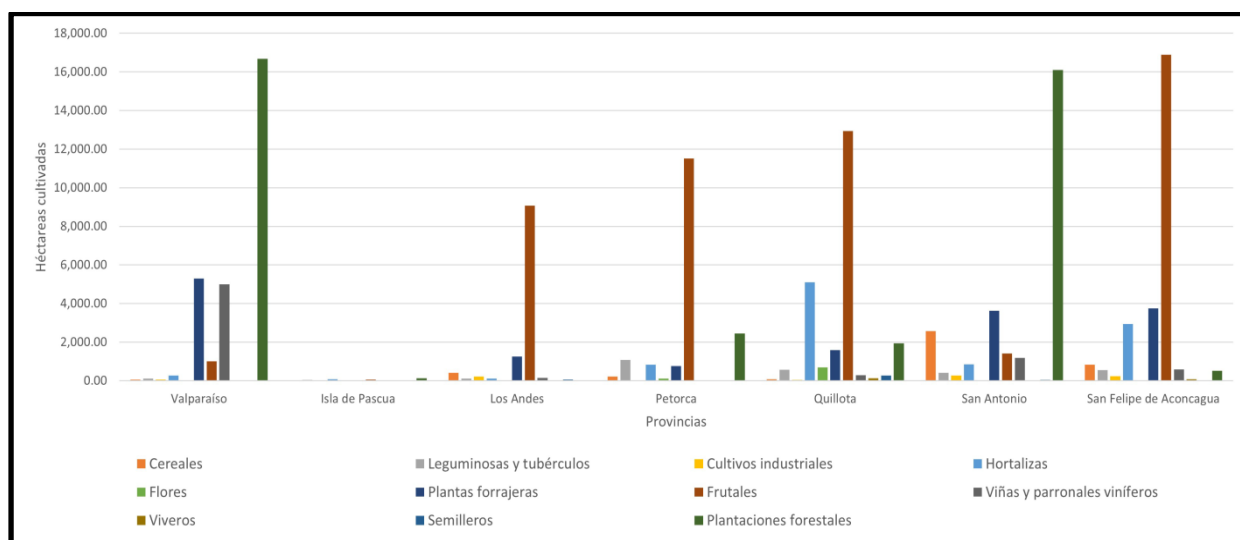


Nota tomado de INE (2007)

En la región en cuestión, cumple un rol relevante diferentes sectores económicos como el industrial llevando a cabo actividades relacionadas con la producción de tabaco, conservas, automotriz y cemento; el minero desde las refinerías Las Ventanas y Catemu; petroleras en Concón. En cuanto a la agricultura se desarrollan cultivos de parronales, paltos, chirimoyos, hortalizas y flores. Los suelos favorecen la agricultura y el agua de riego llega mediante una red de canales y embalses y su producción se destina un 30% a la agroindustria y el 70% al consumo fresco. En los últimos años se ha realizado la exportación de uva de mesa aportando esta región el 29,7% de la producción nacional y el 30% de la producción total de duraznos; en la Figura 6 se puede ver el tipo de plantaciones por provincia. Entre las plantaciones destacan las forestales, frutales y hortalizas (Figura 6), también resalta la producción de paltos, viveros, nogales, lechuga, tomate y alcachofas (Figura 7), sustentando la productividad del suelo de la región y la necesidad de riego.

**Figura 7**

*Plantaciones por Provincias de Valparaíso*

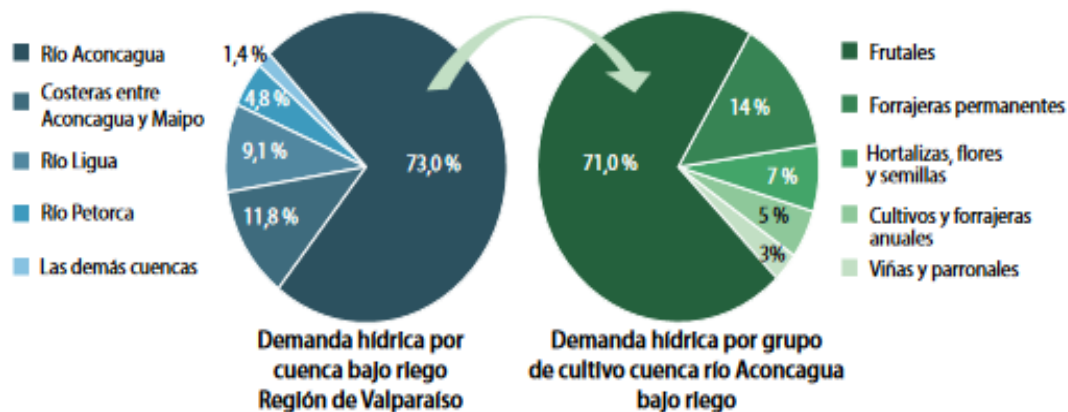


Nota tomado de INE (2007)

De acuerdo con lo descrito, en la Región de Valparaíso el uso consuntivo (no devolución del agua al lugar donde fue captada, una vez usada) más demandado es el agrícola, le sigue la generación eléctrica y el agua potable urbana; en contraposición y con la menor demanda lo tiene el uso pecuario. Con relación al volumen total de agua que se requiere en el sector agrícola y de acuerdo a datos del año 2015, el 41 % se concentra en la cuenca del río Aconcagua, se estima que los requerimientos evapotranspirativos de los cultivos son de 78 % en praderas naturales. En la estimación de demanda bajo riego, se agregan las precipitaciones y eficiencia del sistema de riego, donde el 73 % del volumen se concentra en la cuenca del Aconcagua y dentro de esta el 71 % corresponde a cultivos frutícolas, como puede apreciarse en la Figura 8

**Figura 8**

*Demanda hídrica de la región de Valparaíso*

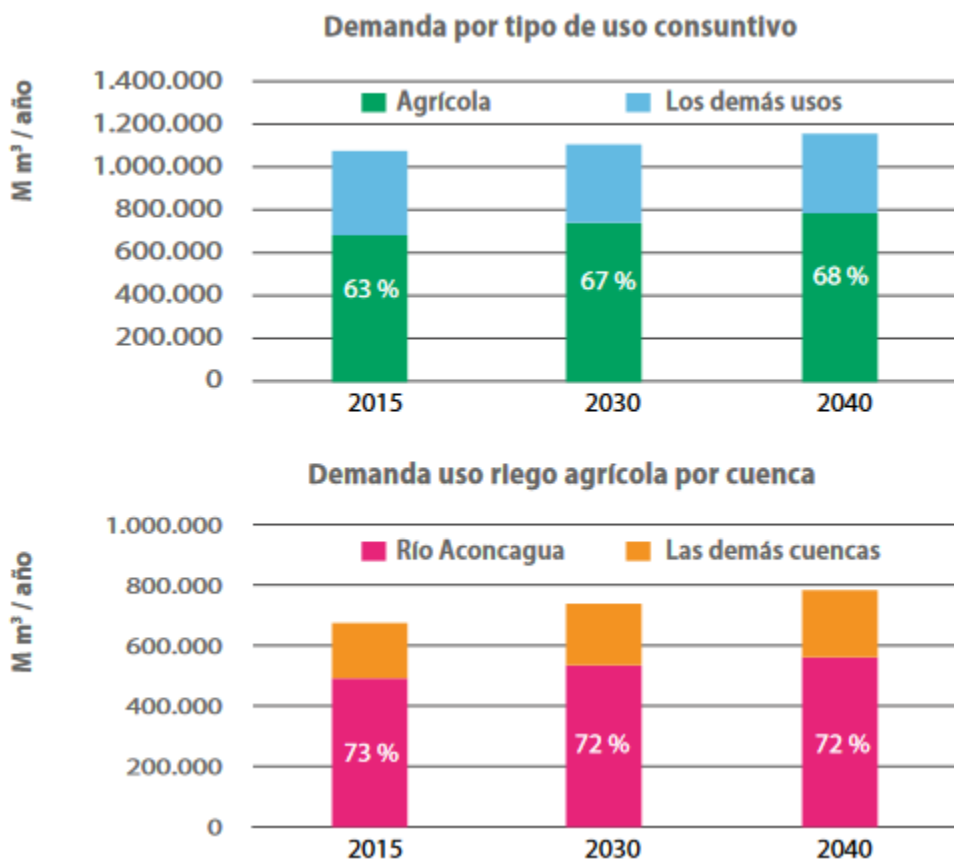


Nota tomado de DGA (2017)

En relación a la demanda del recurso hídrico se proyecta de acuerdo a lo señalado por la DGA que el sector agrícola en la Región de Valparaíso ha de incrementar sus requerimientos en un 16 % durante el período 2015 - 2040, y con respecto a la demanda total su cuota aumenta en un 5%, es decir, pasa de 63 % a 68 %; por su parte, el sector pecuario también incrementa su demanda aproximadamente un 93 %, según la información suministrada por el PIB; el sector minero, por el contrario disminuye su demanda un 10% en los próximos 25 años, poco significativo pero todo suma. Tomando en cuenta la cuenca, se prevé que el mayor uso consuntivo de agua destinada al riego del sector agrícola será desde el río Aconcagua, se estima 73 % para el año 2015 y 72 % en 2040, tal como se puede observar en Figura 9.

**Figura 9**

*Demanda hídrica proyectada en la Región Valparaíso*



Nota tomado de DGA (2017)

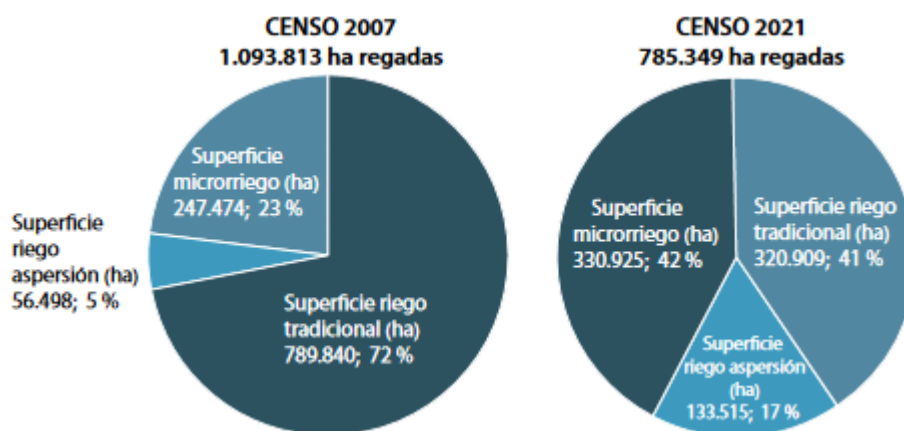
Cabe señalar, que la demanda de agua que se proyecta en la agricultura considera criterios que han de aportar mayor eficiencia de riego, el incremento en la superficie de suelo que se riega y ajustes en los cultivos a mediano y largo plazo. Por otro lado, en relación a la tecnología de riego y su diversificación, se puede resaltar el riego localizado como goteo, cinta, microaspersión y *microyect*, esto de acuerdo al cultivo de la zona, dado que algunos exigen una considerable cantidad de agua, particularmente, el palto.

Se debe hacer énfasis también en el aumento de la superficie regada implementando aspersión y microrriego, hasta ahora se sabe que se ha pasado de 303 mil ha en el año 2007 a 464

mil para el año 2021, esto significa un aumento del 53 %. De este modo, se puede señalar que su participación sobre la totalidad de superficie regada ha cambiado en 31%, (de 28 % a 59 %) en el mismo periodo de tiempo; estudios han mostrado que Chile viene adoptando tecnologías que permiten monitorear, controlar el riego, contribuyendo con el ahorro de agua, representado este aproximadamente un 20%. No obstante, sigue prevaleciendo el riego tradicional, así se puede observar en la Figura 10, para el año 2021 el 41% de la superficie regada se hace a través de este método.

**Figura 10**

*Distribución de la superficie del sistema de riego principal*



Nota tomado de INE (2022)

El INE (2022) ha señalado que de 785 mil ha regadas en el país, el 88 % corresponde con la zona centro sur entre Valparaíso y La Araucanía, Maule y O'Higgins aportan la mayoría de esta superficie, lo que equivale al 28 % de la nación, los resultados pueden verse en la Figura 11.

**Figura 11***Distribución de superficie regada según CAF 2021*

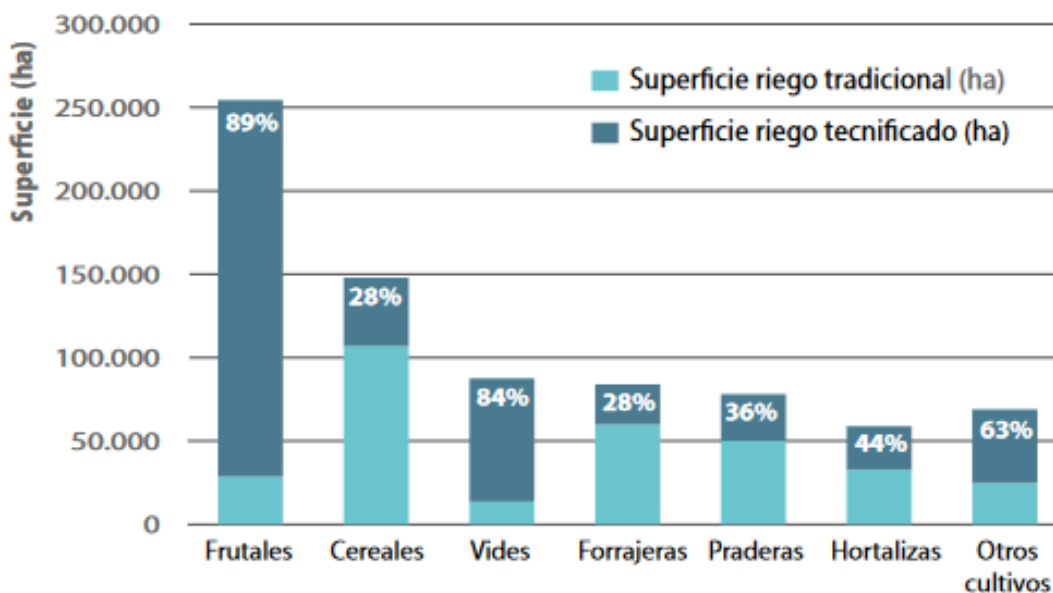
Región	Riego tradicional		Riego tecnificado (aspersión y microrriego)		Superficie total riego (ha)
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	
Arica y Parinacota	3.955	61,5	2.476	38,5	6.430
Tarapacá	962	63,9	543	36,1	1505
Antofagasta	932	95,3	46	4,7	978
Atacama	3.516	37,5	5.872	62,5	9.388
Coquimbo	6.179	18,7	26.893	81,3	33.072
Valparaíso	9.494	20,8	36.101	79,2	45.595
Metropolitana	40.235	44,2	50.793	55,8	91.028
O'Higgins	55.487	41,7	77.509	58,3	132.997
Maule	105.770	48,0	114.395	52,0	220.165
Ñuble	41.823	49,2	43.131	50,8	84.954
Biobío	28.276	44,2	35.699	55,8	63.975
Araucanía	15.865	31,8	34.026	68,2	49.891
Los Ríos	720	3,3	21360	96,7	22.080
Los Lagos	2.877	17,1	13.960	82,9	16.837
Aysén	1.449	52,6	1.304	47,4	2.753
Magallanes	3.369	91,0	332	9,0	3.701
<b>Total nacional</b>	<b>320.909</b>	<b>40,9</b>	<b>464.440</b>	<b>59,1</b>	<b>785.349</b>

Nota tomado de INE (2022)

El tipo de cultivo determina el riego que puede ser utilizado, los frutales se corresponde con el 32 % de la superficie regada en el país, de esto el 89 % de su superficie emplea riego tecnificado, en contraposición cultivos tradicionales como cereales, ocupan el 19 % de la superficie regada, solamente el 28 % de ella se riega con métodos tecnificados; esta última situación se repite en rubros como hortalizas, praderas y forrajeras bajo riego, en estos se mantiene el empleo del riego tradicional, la Figura 12 muestra lo descrito.

**Figura 12**

*Distribución de superficie por tipo de riego según CAF 2021*



Nota tomado de INE (2022)

Se aprecia que, en el caso de las vides, la superficie promedio es de 69% en Valparaíso y la tecnificación supera el 75 % de la superficie; la alta tasa de tecnificación, es producto de la inmensa superficie frutícola y vitícola. Esta se corresponde con el 77 % de la superficie regada con 90% de tecnificación (Figura 13), lo que de algún modo, compensa la escasa tecnificación implementada en otros rubros (forrajeras, leguminosas y cereales).

Valparaíso es una región que se ha visto muy afectada por la escasez hídrica, se han decretado cuatro decretos de escasez, abarcando casi la totalidad de las provincias (7 de 8); 37 comunas de las 38, convirtiendo a la región en la que más decretos ha requerido. En la Tabla 14 se presentan los decretos de escasez de la región.

**Figura 13***Distribución de superficie regada por tipo de cultivo y riego*

Tipo de cultivo	Riego tradicional		Riego tecnificado (aspersión y microrriego)		Superficie total riego (ha)
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	
Frutales	2.869	10,5	24.345	89,5	27.214
Vides	19	0,2	7.688	99,7	7.708
Forrajeras	3.303	77,9	936	22,1	4.238
Hortalizas	1.473	41,8	2.055	58,3	3.527
Cereales	944	83,6	185	16,4	1.129
Leguminosas y tubérculos	387	70,4	163	29,6	550
Flores de corte	203	48,7	214	51,3	417
Viveros	110	34,8	206	65,2	316
Praderas	154	49,4	158	50,6	312
Semilleros	4	2,8	138	97,2	142
Cultivos industriales	28	65,1	15	34,9	43
<b>Total región de Valparaíso</b>	<b>9.494</b>	<b>20,8</b>	<b>36.101</b>	<b>79,2</b>	<b>45.595</b>

Nota Tomado de INE (2022)

**Tabla 2***Decretos de escasez del recurso hídrico en la región de Valparaíso*

Provincia	Comuna	Comunas/ decreto	Área km <sup>2</sup>	Población rural
Marga-Marga	Quilpué, Limache, Olmué, Villa Alemana	4	1158	15524
Petorca	Petorca, La Ligua, Cabildo, Pardo	5	4596	25587
San Antonio	Algarrobo, Catargena, El Quisco, El Tabo, San Antonio, Santo Domingo	6	1518	16034
Valparaíso	Casablanca, Con Cón, Juan Fernández, Puchuncaví, Quintero, Valparaíso, Viña del Mar	7	2015	20997
San Felipe	Putendo, Santa María, Catemu, Panquehue, San Felipe, Llay Llay	6	2638	38988
Quillota	Hijuelas, La Calera, La Cruz, Nogales, Quillota	5	1114	26312
Los Andes	San Esteban, Los Andes, Rinconada, Calle Larga	4	3075	19457

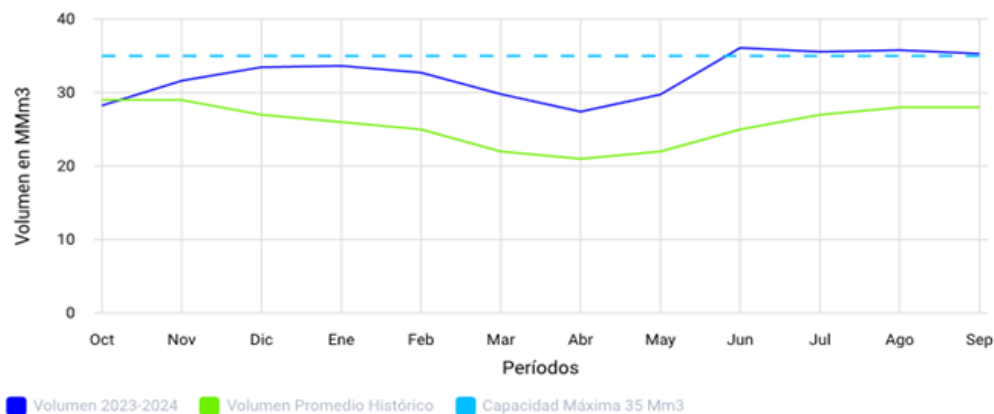
Nota tomado de DGA (2022)

Ahora bien, hasta el año 2021 se ha tenido un déficit de precipitaciones del 70% en relación con el promedio histórico desde hace 30 años, de acuerdo a lo precisado por la Empresa de Servicios Sanitarios (ESVAL, 2022), esto ha afectado los sistemas de agua potable rural (APR), se han secado pozos y napas, lo que ha requerido de abastecimiento por camiones (La Tercera, 2021).

Es de hacer notar que la región cuenta con embalses de almacenamiento de agua para el consumo humano, riego y otra actividad necesaria. Los embalses Peñuelas y Aromos almacenan agua potable y su capacidad es mayor a 30 hm<sup>3</sup>, no obstante, se han visto casi secos por la escasez de agua; la variación de volumen se observa en las Figuras 14 y 15, lo que ha generado problemas para satisfacer a la población.

**Figura 14:**

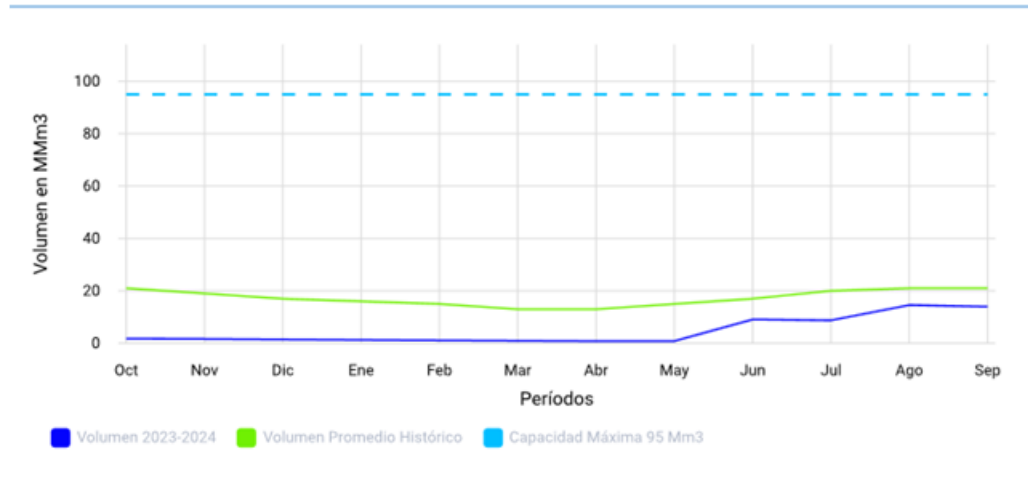
Variación del volumen del embalse Los Aromos 2021 – 2022



Nota tomado de DGA (2022)

**Figura 15:**

Variación del volumen del embalse Peñuela 2021 – 2022



Nota tomado de DGA (2022)

Tomando en cuenta lo descrito hasta ahora con respecto a la necesidad de satisfacer la demanda del recurso hídrico, desde el 2018 se han llevado a cabo proyectos orientados al aporte de la seguridad en el suministro de agua a la región (Ley de Transparencia SISS, 2022), entre ellos:

- En Gran Valparaíso (Litoral norte):

En 2021, la conducción reversible Los Aromos-Concón (1.950 l/s), conecta el embalse Los Aromos con la planta de tratamiento de Concón en la desembocadura el río Aconcagua; se trata de una conducción reversible permitiendo captar y reservar durante invierno para utilizarla en verano, descarga en la planta de tratamiento.

- Pozos para recarga de Aromos.

En 2021, conducción tubería Romeral: extensión de 7 km que incrementa la eficiencia de entrega del recurso hídrico, va desde Las Vegas hasta los canales Waddington y Ovalle, recarga el embalse Los Aromos.

De igual manera se ha efectuado, post tratamiento e impermeabilización Tanque Las Vegas.

En el Litoral sur:

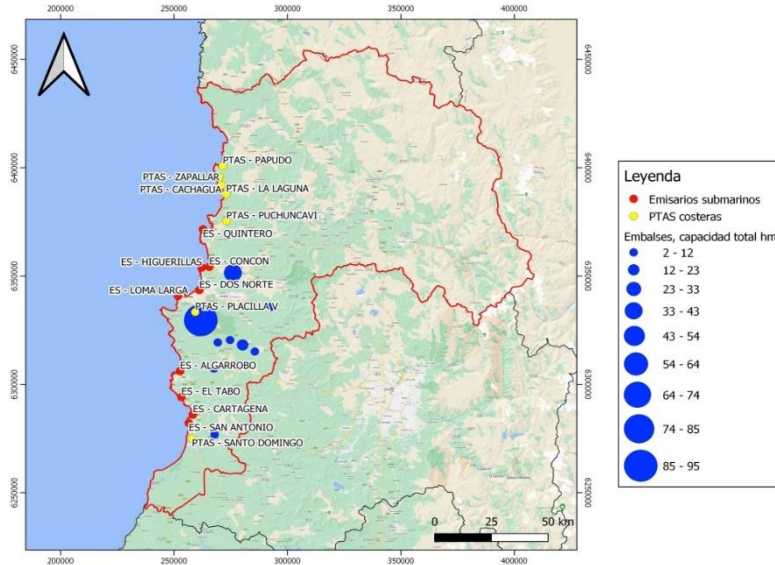
- Batería de Pozos San Juan Litoral Sur (900 l/s), proporciona autonomía si se presenta turbiedades en el río; se realizan “Mesa del Aconcagua”, mesa donde se discute y coordina la gestión del agua de la cuenca entre todos los implicados.

El escenario que se ha mostrado implica que el reúso de aguas servidas puede considerarse una medida que mitigue la necesidad de riego ante la escasez del recurso hídrico, es una alternativa que disminuye la presión de la demanda en el sector agrícola que se corresponde con el 62,59%, lo que representa un caudal de 21,31 m<sup>3</sup>/s de las aguas demandas en Valparaíso (DGA, 2017).

Las aguas servidas con mayor potencial de reúso y factibilidad de ser utilizadas con el fin propuesto son las suministradas por emisarios submarinos y PTAS costeras, como se ve en la Figura 16, pues es la región con la mayor cantidad de agua servida y que puede ser reusada, pues tiene un caudal total de 3,21 m<sup>3</sup>/s, tal como lo muestra la tabla 3.

**Figura 16**

*Localización de los emisarios submarinos y PTAS costeras*



Nota tomado de BCN, (s.f.).

**Tabla 3:**  
*Caudal de emisarios submarinos y PTAS costeras de la región de Valparaíso*

PTAS Costeras (m <sup>3</sup> /s)		Emisarios Submarinos (m <sup>3</sup> /s)	
Cachagua	0,003	Algarrobo	0,053
La Laguna	0,007	Cartagena	0,083
Papudo	0,013	Con Con	0,081
Santo Domingo	0,016	Dos Norte	0,768
Zapallar	0,004	El Tabo	0,052
Placilla V	0,093	Higuerillas	0,046
Puchuncaví	0,006	Loma Larga	1,731
		Quintero	0,062
		San Antonio	0,198
<b>Total</b>	<b>0,14</b>	<b>Total</b>	<b>3,07</b>

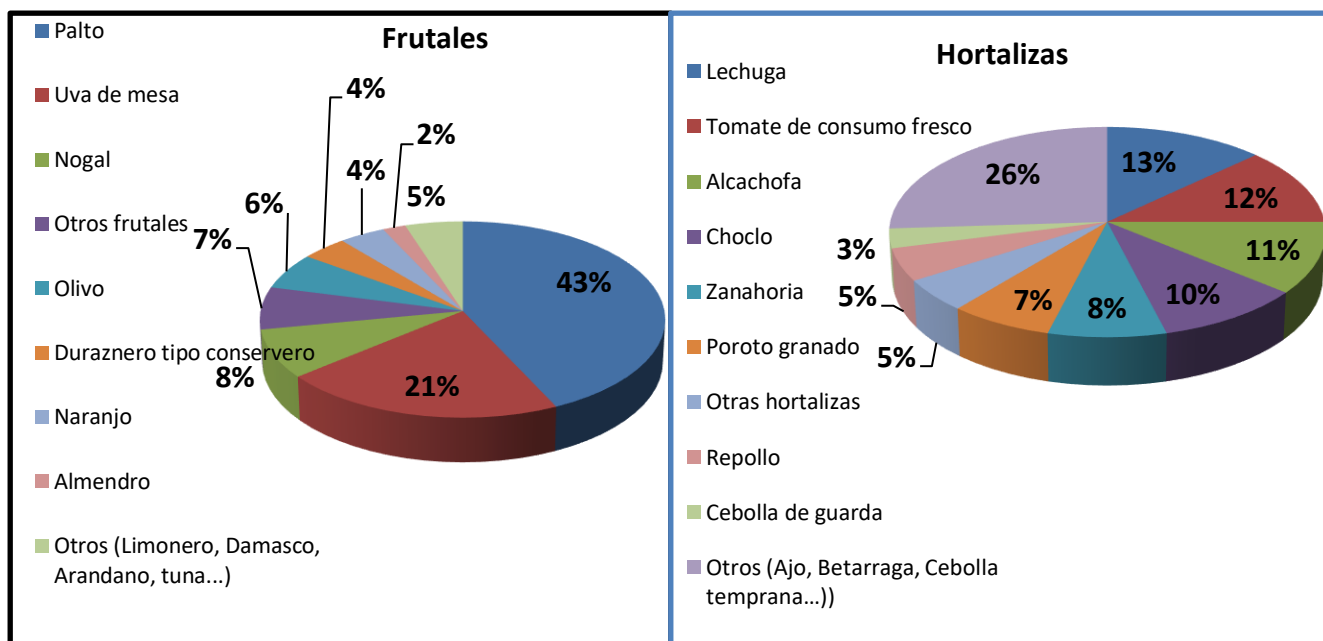
Nota tomado de DGA (2017).

Ahora bien, cabe acotar que en este estudio se tiene como propuesta la planta de tratamiento ubicada en Placilla (zona potencial para el reúso de agua), de esta forma, este recurso hídrico se

puede destinar a la agricultura, para el riego de cultivos de diferentes rubros, específicamente, en la comuna de Casablanca.

**Figura 17**

*Frutales y hortalizas*



Nota tomado de INE (2007)

En este sentido, es pertinente señalar que dicha comuna forma parte de la V región, provincia de Valparaíso. La misma limita al Norte con las comunas de Quilpué y Valparaíso; al Sur con las comunas de El Tabo y Cartagena; al Oeste colinda con el océano Pacífico, Algarrobo, El Quisco y al este con los cordones montañosos de la cordillera de la Costa, la región Metropolitana, (Figura 17). La localización de la comuna corresponde aproximadamente a los 33°19' Latitud Sur y 71°24' Longitud Oeste. Posee un área de 95.417 hectáreas y una altura promedio de 250 m.s.n.m. Presenta una superficie de 952,5 kilómetros cuadrados, siendo la comuna de mayor superficie de la provincia de Valparaíso.

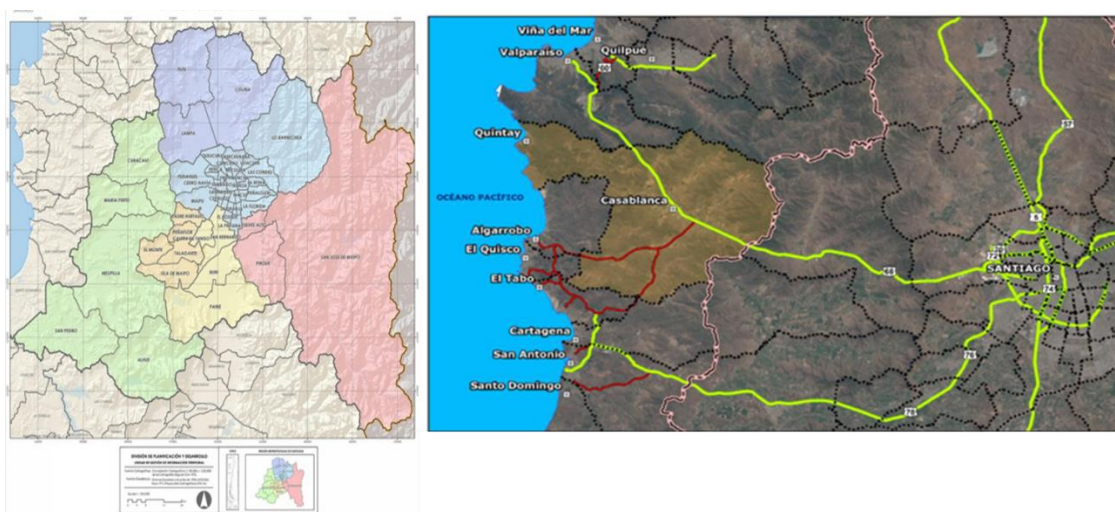
La Región de Valparaíso viene presentando problemas de sequía, este fenómeno es más intenso en las comunas donde el agua disponible depende únicamente de las precipitaciones pluviales; cuyo caso particular corresponde a la comuna de Casablanca.

Es de resaltar que en Casablanca hay dos localidades (Ciudad de Casablanca y Las Dichas) que por concesión de ESVAL reciben el suministro de agua potable; el área de Casablanca concesionada es de aproximadamente 372.56 Ha (Plan de Desarrollo, 2015), sin embargo, se tiene un excedente de 331.55 Ha del Límite Urbano vigente, esto ha sido de este modo desde el año 1990. Bajo este contexto, se estima que de la ubicación en donde extrae el agua de ESVAL tiene disponibilidad hídrica suficiente, aun cuando se presente circunstancias de sequía extrema.

La población que habita en la comuna de Casablanca presentó para el año 2023 un consumo unitario de 15,9 m<sup>3</sup>/cli/mes y 177,1 l/hab/día, esta cifra refleja el consumo promedio de agua/habitante durante el último año.

Por otra parte, el gasto total de agua para la comuna durante el último año y la respectiva proyección de crecimiento se muestra en la Tabla 4.

**Figura 18.** Localización de la Comuna de Casablanca



**Fuete:** Tomado de <https://municipalidadcasablanca.cl>

**Tabla 4** Gasto total de agua para la comuna durante el último año y la respectiva proyección de crecimiento

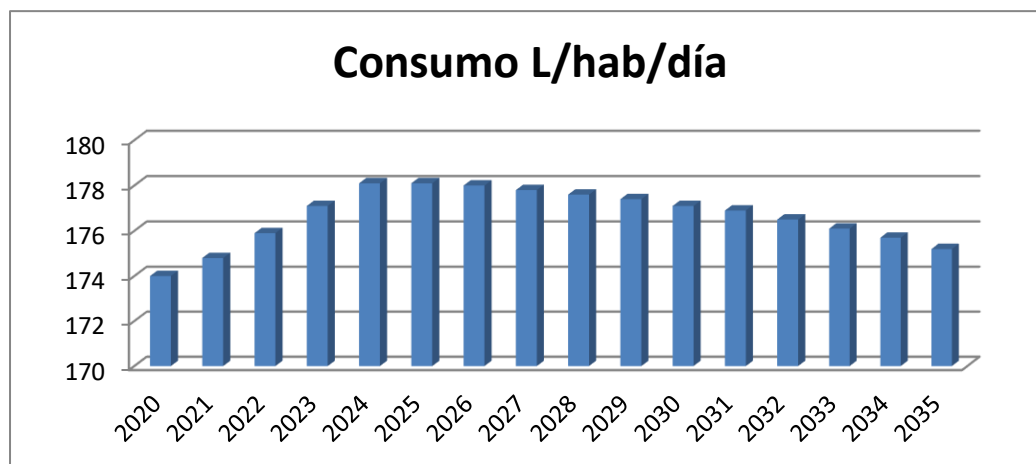
Año	Consumo Anual		Volumen	
	Dotación	Cliente	Anual	Sobreconsumo
	Población l/hab/día	Mes m <sup>3</sup> /cli/mes	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /año
2020	174,0	16,0	1.222.584	28.682
2021	174,8	16,0	1.244.609	29.199
2022	175,9	15,9	1.266.594	29.715
2023	177,1	15,9	1.288.577	30.230
2024	178,1	15,8	1.310.581	30.747
2025	178,1	15,7	1.323.654	31.053
2026	178,0	15,5	1.336.739	31.360
2027	177,8	15,4	1.349.369	31.657
2028	177,6	15,2	1.361.566	31.943
2029	177,4	15,1	1.373.360	32.219
2030	177,1	14,9	1.384.787	32.488
2031	176,9	14,8	1.395.853	32.747
2032	176,5	14,6	1.406.600	32.999
2033	176,1	14,5	1.417.042	33.244
2034	175,7	14,4	1.427.181	33.482
2035	175,2	14,2	1.437.051	33.714

**Fuente:** Elaboración propia

Los datos de la Tabla 4 pueden ser mejor percibidos en la figura 19 donde se muestra el consumo L/hab/día; en consecuencia, se estima que el mismo va en disminución leve hasta el año 2026; posteriormente, se observa una disminución hasta el 2035, sin embargo, el consumo será

mayor por habitante respecto al consumo del año 2020, es decir, se mantiene por arriba de los 175 L/hab./día.

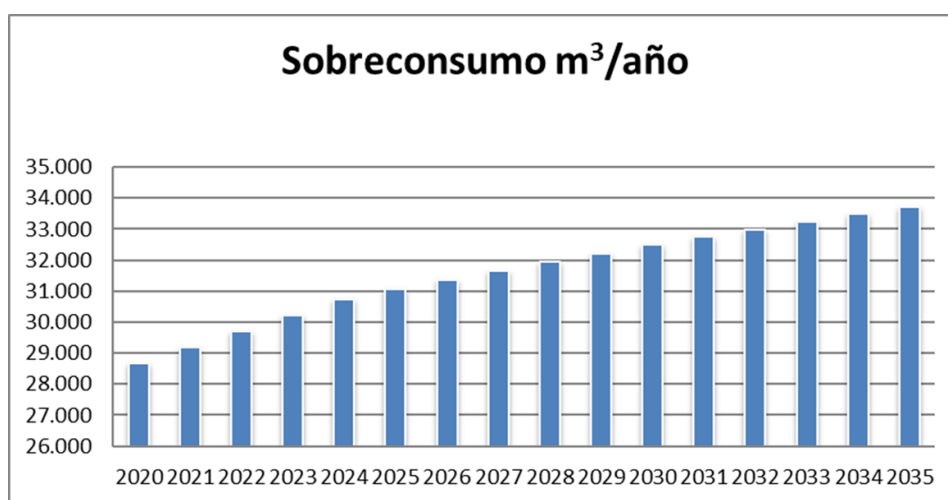
**Figura 19.** Consumo de agua por habitante al día



**Fuente** Elaboración propia (2024)

Por otra parte, en la figura 20 se puede ver el sobre consumo  $m^3/año$ , la estimación realizada prevé que esta va en continuo crecimiento; por tanto, la estimación no muestra signos de control en relación al sobreconsumo del recurso hídrico.

**Figura 20.** Sobreconsumo de agua anual



**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Con respecto al gasto en dinero de los clientes por consumo de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas, se puede ver la tabla 5; las cifras representan para el consumidor un gasto bastante significativo al año.

**Tabla 5** Gasto/cliente/consumo de agua potable (m<sup>3</sup>)

<b>Cargos</b>	<b>Valores</b>
Cargo fijo cliente (\$/mes)	1602
<b>Variables (\$/mes)</b>	
Agua Potable con flúor no punta	1233,69
Alcantarillado no punta y punta	825,55
Agua Potable con flúor punta	1224,09
Sobreconsumo Agua Potable con flúor punta	2621,39

**Fuente:** Elaboración Propia (2024)

La información aportada indica claramente la necesidad de tomar medidas, en este caso, reutilizar el agua servida en actividades como la propuesta, riego de cultivos como alternativa que permite hacer frente a la problemática de agua que puede estar haciendo dentro de pocos estragos en la comuna de Casablanca.

## **6.2 Reúso de aguas servidas tratadas y la tecnología utilizada para el tratamiento del agua.**

Tal como se ha mencionado durante el desarrollo de este estudio, el tratamiento de aguas servidas se ha presentado como una alternativa a la problemática de escasez de agua no solo en Chile, sino también a nivel internacional, por lo que ante esta situación diferentes países han optado por la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Es así como, un aspecto

importante a considerar sobre la instalación de estas plantas de tratamiento es que cada país ha llevado a cabo esta instalación según la localidad de la planta, sus niveles de desarrollo en tecnología, su capacidad de inversión y las políticas propias del país.

En tal sentido, para profundizar sobre la experiencia internacional en el reúso de aguas servidas tratadas, se presenta a continuación el siguiente análisis:

### **6.2.1 Experiencia en Colombia**

En el país colombiano, el agua es considerada esencial para la subsistencia de los distintos ecosistemas, la sociedad en general, la actividad económica y sistemas de producción, este cuenta con un conjunto de normativas dentro del marco de la “Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico”; en estas, se han establecido en relación con las aguas residuales, disposiciones y reglamentos en cuanto a la recirculación y reutilización del agua. Cabe destacar, que han precisado entorno a la recirculación que se trata del uso del recurso en la misma actividad de la que provienen las aguas residuales; y al hacer referencia al reúso, se tiene un receptor diferente al que produce el agua residual. Así mismo, la norma indica que el reúso de agua se permite sólo en la actividad agrícola e industrial, por lo que se han definido las condiciones técnicas necesarias en este ámbito.

En este sentido, es necesario señalar que el sector agrícola requiere el 70% del agua a nivel mundial (Banco Mundial, 2022); en el caso de Colombia, las cifras las reporta el “Estudio Nacional del Agua” (ENA, 2022), indicando que la actividad agrícola y postcosecha demanda 13984 millones de m<sup>3</sup>/año, es decir un 43 % de la totalidad de agua que se requiere en los distintos sectores (IDEAM, 2022). Como puede notarse, es precisamente el sector agrícola el que devenga mayor cantidad del recurso hídrico, por tanto, es el mayor beneficiario del agua de reúso, dada

sus actividades de riego; las estadísticas se han señalado que aproximadamente 50 países a nivel mundial riegan el 10 % de sus áreas con aguas residuales tratadas parcialmente, incluso sin recibir ningún tratamiento previo (Jaramillo, 2014). Por otra parte, el país colombiano viene trabajando en función a un plan de monitoreo para registrar la cantidad y la calidad del recurso utilizado en el reúso para su revisión ambiental.

A pesar de lo descrito, el sector agropecuario es el que se ha venido abasteciendo del reúso de aguas residuales tratadas, sin embargo, estas no han recibido el control adecuado de las autoridades. De acuerdo con el estudio presentado por el DNP en el año 2020, se han utilizado para el riego de cultivos de las aguas residuales tratadas cuyo origen son las lagunas facultativas, las mismas no cumplen con los parámetros de calidad del agua según lo establecido en la norma (Consortio N y V Caltiz, 2020).

Cabe señalar, que las multinacionales presentes en el país utilizan para el tratamiento de agua el método de sistemas de lodos activados, por lo que sus avances pueden ser considerados base para desarrollar proyectos piloto para el reúso en otros países. En este sentido, se puede mencionar la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) que, en conjunto con Ecopetrol, lleva un proyecto 44 Ha de los municipios de Acacias y Villavicencio, en el departamento del Meta, consiguiendo después de 5 años de investigación que las propiedades físicas del suelo no se ven afectadas negativamente por el agua de reúso. Por el contrario, se incrementó en el suelo el contenido de algunas sales y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Aunado a esto, no se ha observado acumulación de metales pesados, se ha controlado el contenido de hidrocarburos, no se halló diferencia entre los “suelos regados con agua de pozo y con aguas de producción tratadas”; así mismo, el desarrollo de cultivos registra mejor índices de biomasa y crecimiento al contrastar con datos regionales (Almansa, Velásquez

& Rodríguez, 2018).

En este sentido, es de resaltar que en Colombia se hace frente a diversos desafíos para optimizar el reúso de agua en cultivos agrícolas, entre ellos:

- Se analiza la relación costo-beneficio ante la necesidad de hacer inversión tecnológica para tratar, monitorear y hacer concesión, en función al pago actual que realiza el consumidor por el servicio de agua.
- Se hacen estudios de la tasa por uso de agua que representa un muy bajo costo de producción, lo que no incentiva la inversión para el reúso.
- Las normas y regulaciones establecidas son claras, evitando ambigüedades en la información que se entrega a la autoridad ambiental.

### **6.2.2 Experiencia en México**

México viene enfrentando grandes retos en relación con la disponibilidad del recurso hídrico en algunas de sus regiones. El territorio de México es equivalente a 1964 millones de kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), 1959 millones son superficie continental la diferencia corresponde al área insular; se cuenta con climas diversos, la porción sur del país se ubica en la zona intertropical y la norte está en la zona templada; son variados los accidentes geográficos que determinan el relieve. Las características propias del país mexicano, ubicación geográfica y relieve, impactan sobre la disponibilidad del agua, dado que este recurso no se distribuye uniformemente; un tercio del territorio en el sur y sureste es húmedo al igual que el golfo de México donde se presentan precipitaciones anuales mayores a 2000 mm<sup>3</sup>; este país tiene gran cantidad de ríos, lagunas y acuíferos aportando más agua disponible; por otro lado, dos terceras

partes del territorio ubicadas al norte y noroeste son áridas o semiáridas, las precipitaciones/año son menores a los 500 mm<sup>3</sup>.

Son grandes los recursos hídricos de México, sin embargo, presenta conflictos en ciertas regiones por la escasez del recurso dada la demanda de agua destinada para la actividad agrícola y otras actividades. Vale señalar, que el sector agrícola consume el 76 % del agua dulce con la que se cuenta; de igual modo, los efluentes sin tratar provenientes de la actividad agrícola y otras perturban la calidad del agua, incidiendo directamente en la disponibilidad del recurso.

El reúso del agua se reconoce como una estrategia que mitiga la escasez del agua dando máximo aprovechamiento al recurso disminuyendo la cantidad de agua requerida para satisfacer la demanda, particularmente, la agrícola; el reúso proporciona beneficios económicos reduciendo costos inherentes al tratamiento y el suministro del recurso hídrico, al igual que los asociados con el impacto ambiental producto de las vertientes de aguas residuales. En virtud de ello, México desde el sector público viene haciendo grandes esfuerzos para el reúso de agua, en el 2019, se trató 141,5 m<sup>3</sup>/s mediante 2462 plantas que operan en el país, lo que equivale al 65,7 % de los 215,3 m<sup>3</sup>/s que se habían recolectado través de los sistemas de alcantarillado; en 2020 aumentó la cantidad de plantas de tratamiento a 2786, se logró tratar 144,7 m<sup>3</sup>/s.

Para ilustrar, en la ciudad de San Luís Potosí, México, se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales Tenorio, esta aporta 600 l/s de agua residual tratada para ser utilizada en el sector agrícola, satisfaciendo la necesidad de 500 Ha. Vale señalar, que esta práctica reduce considerablemente la extracción de aguas subterráneas (14 millones de m<sup>3</sup>/año)

(Banco Mundial, 2020); así mismo, el Banco Mundial ha reportado que el agua residual tratada, tiene 33% menos de costo para la planta termoeléctrica en relación al valor económico que genera el agua potable.

En este mismo contexto, EDAR Atotonilco (Estación de depuración de aguas residuales) Grupo Acciona de EPM viene implementando el reúso con plantas de tratamiento en el Valle de México; tiene una capacidad de 35 m<sup>3</sup>/s en estas se da tratamiento al 66% de las aguas residuales de la región. Se aplica “pretratamiento, sedimentación primaria, lodos activados, sedimentación secundaria y cloración”. Las aguas tratadas se utilizan para regar cultivos de alfalfa, maíz, lechuga, repollo y cilantro (Consortio N&V Caltiz, 2020). Se ha conseguido ahorros en cuanto a disminución de costos, posibilidad de empleo para construir y operar en estas plantas y diversificación de cultivos dada la calidad del agua. (Banco Mundial, 2020)

Bajo esta perspectiva, este país debe hacer frente a desafíos significativos para el reúso de agua, entre ellos:

- Debe buscar alternativas para superar la necesidad de infraestructura adecuada para recolectar, tratar y distribuir aguas residuales, de esta forma, aprovecha en mejor medida el agua tratada.
- Le corresponde trabajar más en cuanto a normativas y regulaciones, pues se viene generando incertidumbre y conflicto legal ante ciertos procedimientos.
- Debe difundir y promocionar estas acciones de manera consciente para que los habitantes acepten esta alternativa eficaz para el reúso de agua.
- Favorecer la gestión eficiente de los recursos hídricos evitando limitar la cantidad de

agua destinada para el reúso.

### **6.2.3 Experiencia de Perú**

En Perú se tiene el 1,89 % de agua dulce disponible el mundo; sin embargo, esta distribución no es equitativa, en la vertiente del Pacífico se encuentra el 66 % de los habitantes y disponen del 2,2 % del recurso; en la vertiente del Atlántico, está presente el 31 % de la población con un disponible 97,3 %; y en la vertiente del Titicaca, donde habita el 3% de la población se cuenta con 0,6 % del agua (ANA, s.f.). Al respecto, Falkenmark (1992) ha hecho énfasis en el indicador de disponibilidad hídrica, considerando que se trata del nivel mínimo estimado de agua que requiere cada habitante para su calidad de vida en una zona árida medianamente desarrollada; en consecuencia, si es mayor a los 2000 m<sup>3</sup>/hab/año, se está sobre el umbral de desarrollo, si esta entre 1700 a 2000 m<sup>3</sup>/hab/año se tiene estrés hídrico intermedio, si varía entre 1000 a 1700 m<sup>3</sup>/hab/año hay estrés hídrico acentuado y, si está por debajo de 1000 m<sup>3</sup>/hab/año hay escasez hídrica (ANA, 2011).

En este sentido, el escenario descrito junto al crecimiento poblacional, la migración, el desarrollo urbano, el mal manejo de los recursos hídricos por parte de sectores industriales, agrícolas y el cambio climático, agravan la escasez de agua, afectando en mayor medida las cuencas localizadas en la vertiente del Pacífico. De esta manera, es imprescindible fomentar el reúso de las aguas residuales a gran escala para hacer frente a la falta de agua y disminuir la explotación del recurso hídrico.

En el país peruano durante el año 2020, se produjo aproximadamente 1214,95 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales mediante el sistema de alcantarillado; fueron tratadas el 78 % y sin tratar se vertieron 267,29 millones de m<sup>3</sup> a los afluentes (SUNAS, 2022). Cabe señalar, que las

aguas no llegan a ser debidamente tratadas, pues no se cumple con los parámetros de calidad para ser vertidas a los cuerpos de agua.

Perú tiene una superficie agrícola bajo riego de 2454650,8 hectáreas, durante el año 2018 devengaron 32010,5 hm<sup>3</sup> de agua, equivalente a 85,9 % necesario para el uso consuntivo. Adicionalmente, el 55,2 % de estas áreas disponen de derechos de uso de agua de tipo agrario (ANA, 2020); no obstante, la diferencia es satisfecha de modo informal.

Teniendo en consideración lo expuesto y la demanda de agua es imprescindible que se fortalezca los mecanismos sanitarios para prevenir contaminación de productos agrícolas; en consecuencia, bajo la perspectiva de la economía lineal las aguas residuales generan grandes esfuerzos, dado que las plantas de tratamiento deben depurarlas antes de la descarga reduciendo la posibilidad de contaminación ambiental y cuidando la salud pública; igualmente, los lodos deben enterrarse en rellenos sanitarios. Este método de tratamiento implica bajo costo (SUNASS, 2022); no obstante, la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) desde el año 2015 se le da mayor connotación a la economía circular; de esta manera, las aguas residuales pasan a considerarse recursos reutilizables que proporcionan nuevas fuentes de agua (CEPAL, 2022).

Bajo este contexto, Perú debe enfrentar los siguientes desafíos para el reúso del recurso hídrico en el país:

Requiere dejar optimizar los procedimientos administrativos (Ávalos, 2020).

Debe dar mayor valor al reúso del agua como parte de una estrategia empresarial, dado que hasta ahora estas prácticas de reúso de aguas residuales son consideradas en los proyectos de inversión para controlar y reducir el impacto ambiental que se genera, lo que incluye costo de implementación, pero no adiciona valor a la inversión económica.

Se debe mantener actualizados los instrumentos de planificación nacional según lo estipulado por los ODS, para dar consecución, a los objetivos 6, Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos; esto debe llevarse a cabo implementando una gestión integrada del recurso hídrico.

Es necesario fortalecer la formalidad del proceso considerando que, en el 2021, de las 171 plantas de tratamiento operativas, el 50 % reusó sus efluentes en la actividad agrícola, pero en su mayoría no estaban autorizados, canalizando los procedimientos clandestinamente.

Debe hacer inversión en infraestructura, dado que se dista mucho con respecto a la infraestructura que se tiene en el sector de saneamiento (Páucar y Ferrer, 2022).

Impulso de la economía circular en la gestión del agua, en este aspecto Perú ha promulgado normas para las prácticas de reúso y recirculación que deben abarcar también al sector agrícola.

#### **6.2.4 Experiencia de Israel**

Israel se compone por dos regiones climáticas, la región norte y la costera, su clima mediterráneo y los desiertos de Negev y Judea con clima árido y pocas precipitaciones (Molle et. al., 2019). El país ha impulsado la agricultura tomando en cuenta el reciclaje de agua residual a gran escala; de este modo, se ha convertido en un líder mundial en reúso (Molle et. al., 2019).

En este país se hace tratamiento y el reúso del agua desde el año 1980, por lo que se recolecta y trata el 90% de las aguas residuales urbanas mediante plantas de tratamiento públicas, dando reúso al 80% de ellas, aproximadamente, 400 millones de m<sup>3</sup>/año. Un 60% de los cultivos,

unas 355000 Ha consumen casi el 50 % de estas aguas residuales tratadas (Coalición Agua para Colombia, 2020). En consecuencia, el país transformó las cifras porcentuales de sus fuentes de suministro en los últimos 40 años, a tal punto que en la actualidad el 50% del agua que se consume es manufacturada dado que son aguas residuales tratadas o desalinizada. Para llegar a este nivel se hizo grandes ajustes en las normas, incluyendo parámetros físicos, químicos y biológicos con el propósito de acentuar la calidad del agua con respecto a otros cultivos donde se emplea, estableciendo barreras para prevenir contaminación de suelos y de alimentos.

Se ha hecho énfasis en el mejoramiento de la eficiencia del uso del agua a través del empleo de instrumentos económicos y de mercadeo, el fomento de la práctica de la reutilización de aguas residuales municipales en diferentes actividades del motor productivo, así como también, apoyan la investigación, desarrollo y formación técnica en tecnología (Molle et. al., 2019). Cabe destacar, que el sector agrícola depende del riego, razón por la cual, es primordial la inversión significativa en “tecnología de riego, conectividad e infraestructura hidráulica, sustitución de agua dulce por aguas residuales de alta calidad y un cambio a cultivos tolerantes a la salinidad, como el algodón” (Molle et. al., 2019; p.45).

### **6.2.5 Experiencia de Brasil**

Este país posee gran disponibilidad del recurso hídrico superficial del mundo, pero el recurso se distribuye de forma desigual por el territorio, para gestionarlos se trabajan con límites fundamentados en los caudales de agua, dividiendo al país en 12 macrorregiones, 54 mesorregiones y 302 microrregiones hidrográficas. En consecuencia, las características particulares de agua disponible, junto al crecimiento poblacional y el cambio climático incrementa la escasez de agua (Santos y Lima, 2022). Adicionalmente, han disminuido las

precipitaciones y el caudal en distintos puntos de Brasil (ANA, 2022).

En Brasil el consumo anual de agua es de 67,32 trillones de litros, el 53,7 % se usa en el riego (ANA, 2022). La demanda que va en aumento de acuerdo a cada unidad de la Federación; por tanto, ante la escasez y para satisfacer los requerimientos, es necesario considerar alternativas como el agua reutilizada (Santos y Lima, 2022). Para tal efecto, el programa Interáguas se ha propuesto llevar a cabo análisis normativo y talleres que le permiten recoger información sobre oportunidades y desafíos inherentes a esta práctica; de esta manera, se estima que en poco tiempo se ha de tener un potencial de reutilización de 13 m<sup>3</sup>/s, unos 410 mil millones de litros/año, teniendo en cuenta que el actual es de 1,6 m<sup>3</sup>/s. Es importante destacar, que la mitad del flujo potencial de reutilización se encuentra concentrado en centros urbanos (São Paulo y Río de Janeiro). En el cálculo del potencial de reutilización, el tratamiento secundario tiene un valor mínimo, para el año 2017 la inversión promedio fue de R\$ 5 mil millones que permitieron generar 10 m<sup>3</sup>/s, cantidad estimada hasta el año 2030, esto representa un costo por año en promedio de R\$ 400000000. Estas cifras representan aproximadamente 3 % de la demanda de inversión estimada para saneamiento básico durante los mismos años (Interáguas, 2017).

Cabe señalar que Brasil debe superar algunos desafíos que le permiten mejorar la práctica de la reutilización del agua:

- Mejoramiento de la infraestructura fortaleciendo el capital de inversión y el número de proyectos afines.
- Debe hacer énfasis en el estudio de viabilidad económica y financiera.
- Fortalecer su preparación capacidad técnica y financiera que le permita hacer evaluación del potencial de reutilización.
- Limitaciones de las políticas sanitarias nacionales y estatales, tanto institucionales como

financieras, para promover la reutilización.

- Se debe ampliar la inherencia de los organismos reguladores de los servicios de saneamiento, particularmente en el área de reutilización de aguas residuales.
- Generación de escenarios y experiencias para implementar prácticas de reutilización en actividades productivas.
- Promover el uso del agua reutilizada a los grandes consumidores.
- Regular el uso obligatorio de la reutilización del recurso hídrico.
- Generalizar la diversidad regulatoria y legislativa en beneficio de todos.
- Formar y sensibilizar en el tema de la práctica de reutilización del agua.
- Fortalecer la capacidad investigativa en cuanto al reúso del agua residual y su impacto.

Es importante señalar que en Brasil es insuficiente el servicio sanitario de recolección y de tratamiento de agua residual, las plantas de tratamiento de agua residual tienen baja calidad operativa; al respecto, el Sistema Nacional de Información Sanitaria (SNIS) (2020), ha indicado que sólo 50,8 % del volumen de agua residual generada recibió tratamiento, teniendo el 63,2 % de la población urbana generando agua residual a través de la red de recolección (ANA, 2022). En tal sentido, las tasas de recolección de efluentes constituyen un elemento que limita significativamente la posibilidad de expandir la práctica de reutilización del agua (Interáguas, 2017). Adicionalmente, se debe luchar en contra de la “cultura del despilfarro” dado que se mantienen la visión de abundancia en el país, lo que resulta contraproducente para los proyectos y perspectivas basadas en la conservación y uso racional del recurso hídrico (Río de Janeiro, 2022).

### **6.2.6 Experiencia de China**

Este país tiene gran diversidad de climas dada su gran extensión, en el caso de las aguas residuales se ha presentado un aumento significativo en la cobertura de tratamiento, en el año 2000 se contabilizaban 481 plantas de tratamiento y para el año 2016 este número se elevó a 3910. La razón de este crecimiento se ha debido al manejo de aguas residuales en áreas urbanas; aunque esta práctica también se requiere en las zonas rurales, considerando que se tiene 2,79 millones de aldeas rurales, en las cuales habitan aproximadamente el 57% de su población. Para el año 2015 se estimaba que el 64% de la población rural no tenía acceso a servicio de tratamiento de aguas residuales; sin embargo, es bastante común que estas áreas rurales sean regadas con aguas residuales municipales crudas diluidas, ante la escasez de servicios de tratamiento (Juneja et. al., 2021). Lo descrito conlleva a precisar, que hace falta en este país, unir esfuerzos para optimizar y generalizar la práctica de reúso bajo normas sanitarias en beneficio de todos, dando máximo aprovechamiento a los recursos existentes

### **6.2.7 Experiencia de Italia.**

Italia se caracteriza por su clima mediterráneo y abundante de recurso hídrico (Molle et. al, 2019); de igual manera, posee alto grado de tecnificación, sistema de conectividad e infraestructura hidráulica que le adjudican buenas bases para llevar a cabo la gestión de agua y evitar su contaminación, incluso tiene como fortaleza un marco político en el que ha trabajado la Directiva del Agua Europea. En este país se viene reutilizando el agua residual municipal previamente tratada en la actividad agrícola de acuerdo a la regulación legislativa, en la que se establecen altos niveles de calidad para estas aguas; se cuenta también con una institución descentralizada y eficiente que lleva a cabo el control y hace seguimiento al cumplimiento de la

norma (Molle et. al., 2019).

### **6.2.8 Experiencia de Uruguay**

En Uruguay se consume un promedio de agua potable de 750 m<sup>3</sup>/persona/año (Domínguez, 2003), lo que proyecta la generación 2475 millones de m<sup>3</sup>/año de aguas servidas. De esta manera, las aguas residuales urbanas equivalen a una carga de 106.962 kg, DBO 5,20/día, lo que se corresponde con el 93 % de la población uruguaya (DINAMA, 2009). El 78% de las aguas residuales son tratadas, el 81% de ellas son urbanas. En consecuencia, De Albuquerque (2012) ha indicado que el 59,3% de los hogares están conectados al alcantarillado en ciudades; durante el año 2011 se promulgó la Ley 18840 en la se obliga al ciudadano a la construcción de redes de alcantarillado con el fin de recolectar las aguas de las ciudades, esto implica que anualmente se extienda la red de alcantarillado.

El servicio de saneamiento en general lo lidera la empresa OSE; sin embargo, en la capital del país, Montevideo, el servicio lo lleva a cabo la Intendencia capitalina, para el año 2014 debía estar incluida en la red de alcantarillado un 98% de las viviendas. Bajo esta premisa, se implementan varios tipos de tratamiento, a saber:

Vertido directo, se implementa en 6 ciudades, el sistema de alcantarillado sanitario desemboca mediante emisarios en puntos distantes de los efluentes de agua, con una corriente apropiada que garantice la autodepuración; se localizan también alejadas de las costas con destino recreativo, urbanísticos y sociales diversos.

Pretratamiento se implementa en 3 ciudades, este incluye procesos físicos para acondicionar el líquido residual, sin que se vea afectado y facilitando la depuración. Se debe

contar con reja que retenga los elementos mayores; desarenador que recolecte la arena y cualquier otro material similar, previendo que haya sedimentación en las subsiguientes unidades.

Tratamiento se implementa en 27 ciudades, requiere remoción de la materia en suspensión y flotante. Generalmente se utiliza un sedimentador que remueve hasta un 60% de los sólidos suspendidos y un 30% de la DBO. Vale señalar, que la sedimentación primaria dispone de digestores donde se ubica el barro sedimentado (Tanques "Imhoff"). El proceso es complementado con un lecho donde se seca el barro digerido y que al solidificarse es extraído de la Planta para su destino final.

No obstante, de acuerdo con lo expresado por González et al., (2008), el país no cuenta con una amplia experiencia en el reúso de aguas residuales como efluentes de tambo, sin embargo, se tiene proyectada la posibilidad de mejorar esta práctica. Por otro lado, el país carece de la normativa y control necesario que permita llevar a cabo el proceso en condiciones adecuadas.

Las experiencias descritas en este punto permiten señalar que el tratamiento de aguas residuales para el riego de cultivos se ha convertido en una alternativa implementada en distintos y numerosos países, unos con mayor éxito que otros, unos con mayor rigurosidad que otros; pero siempre mostrando que el método es viable mediante la operatividad de una planta de tratamiento, esto requiere inversión que bien vale la pena considerar. Con esta opción viable se consigue aportar soluciones a la problemática de sequía y escases del recurso hídrico en las regiones, particularmente en beneficio del sector agrícola, dando máximo aprovechamiento a las aguas residuales.

Bajo este contexto, es necesario precisar que una planta de tratamiento de aguas residuales se rige de varios procesos integrados y complementarios, razón por la cual, se requiere tener a disposición por lo menos 2 estructuras que funcionen, de tal modo, que el proceso sea

periódico y sin interrupción. Adicionalmente, la planta genera gran cantidad de lodo activado que puede ser posteriormente utilizado como abono. De esta forma, se contribuye con el cuidado del medio ambiente y se proporciona mejor calidad de vida al agricultor, quien sufre los embates de la escasez a hídrica.

### **6.3 Análisis de la propiedad de las aguas servidas tratadas en Chile, mediante investigación jurídica relacionada con el uso de este recurso comunidad de Casablanca**

La presente investigación ha destacado en su narrativa de modo argumentado que el proyecto que se estudia, el reúso de aguas servidas tratadas resulta una alternativa viable para las regiones que padecen de la escasez del vital líquido, tal es el caso de la Región de Valparaíso, vecina de la comunidad de Casablanca; en esta región su implementación plena puede llegar a satisfacer hasta un tercio de los requerimientos de los sectores productivos, lo que se determina una vez que se ha realizado el diagnóstico del recurso hídrico que se puede ofertar, se establece la demanda de consumo potencial y se realiza la evaluación técnico-económica del sistema de reúso de aguas residuales. En el caso de Valparaíso se han de utilizar los emisarios submarinos, pues es la región con mayor disponibilidad de aguas residuales provenientes de esta fuente (Osorio, 2016).

El escenario descrito, como experiencia que ilustra la presente, se muestra totalmente factible de acuerdo con los resultados obtenidos de un modelo aplicado en ciertas provincias, considerando sus particularidades sociopolíticas, técnicas y económicas; de esta forma, se logró determinar el “Índice de Aplicabilidad” que indica las zonas que tienen prioridad para ser suministradas con el recurso hídrico, en este caso, resultaron Casablanca, Quillota y Petorca. En

el caso de las dos primeras regiones, estas tienen mayores posibilidades dada su cercanía a los emisarios submarinos que han de servir como fuente de abastecimiento. En consecuencia, dados los beneficios que se han de obtener conviene tomar en consideración y conocer todo lo inherente a la propiedad de las aguas servidas, en particular lo relacionado con el ámbito jurídico (Becerra, 2018)

En este sentido, es necesario precisar que la nueva legislación, regulaciones y reformas efectuadas por el sector sanitario desde el ámbito administrativo tienen como fin la mejora de los procesos para tratar las aguas servidas. Cabe señalar, que el proceso en cuestión debe apearse a las exigencias ambientales de acuerdo a los Tratados de Libre Comercio, que son relaciones internacionales que debe cumplir el país chileno (Celedon y Alegría, 2004). Así mismo, se tienen razones sanitarias, que también deben ser tomadas en cuenta para evitar enfermedades relacionadas con la contaminación proveniente de cultivos.

Una vez que se han mostrado numerosas experiencias, es de gran importancia mencionar que a partir del año 2000, se inició un plan de saneamiento para eliminar gradualmente las descargas de aguas residuales que no son tratadas (Díaz De Valdés Balbontín, 2015), adicionalmente, se promulgó la normativa de “Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (DS 90/2000)”, lo que le adjudicó mayor celeridad al plan de saneamiento (Baraño y Tapia, 2004). El escenario descrito produjo otro conflicto con relación al recurso hídrico, el reconocimiento del empleo y control de las aguas servidas que han sido tratadas entre los usuarios de las aguas servidas (canalistas y regantes), quienes sufrieron la disminución de los caudales dado que usaban las aguas servidas sin ser tratadas y la empresa sanitaria, cuyos propietarios divisaron un excelente potencial de uso y negocio (Díaz De Valdés Balbontín, 2015). De esta manera, inicia el debate referido a la obligatoriedad que tiene la

empresa sanitaria de disponer del recurso de algún cauce.

Bajo esta perspectiva, conviene conocer que las empresas sanitarias deben trabajar prestando el servicio sanitario bajo la modalidad de concesión, siguiendo lo establecido en los artículos 5 y 7 de DFL n° 382, en el que se precisa que las concesiones deben explotar los servicios sanitarios, en este caso, la empresa sanitaria debe disponer de las aguas servidas dando máximo aprovechamiento. Es de hacer notar que en la disposición no se encuentra establecida la obligatoriedad de descarga, tampoco se habla de mejorar la calidad de estas, lo que ha dado pie a una gran diversidad de ideas para llevar a cabo el reúso por parte de la empresa sanitaria.

Ante lo descrito, se cuenta en este ámbito con la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) cuyas competencias involucran a la empresa sanitaria, a los usuarios y canalistas; así mismo, se considera pertinente definir ciertos términos legales de utilidad ante las posturas existentes sobre la legalidad de las aguas. De esta forma, el marco legal que norma al sector sanitario en cuanto a la disposición de las aguas, manifiesta en el “artículo 61 del DFL 382” según lo dispuesto en el “Título V del Código de Aguas”, que un prestador de servicio sanitarios debe abandonar las aguas servidas una vez que son evacuadas en las redes de otro prestador o si se mezclan con aguas de cauce natural o artificial, a menos que tenga el derecho a conducir las por dichos cauces; este artículo se vincula al “capítulo V del Código de Aguas” referente a los derrames, definidos en el “artículo 43” como aguas abandonadas luego de ser usadas a la salida del predio; estas han sido cedidas una vez que quien las aprovecha deja de hacerlo. En el “artículo 45” se precisa que los derrames están sujetos a la eventualidad del caudal matriz y al uso que se da al agua en la propiedad donde se origina, por esta razón no es obligatoria ni permanente.

En los “artículos 54 y 55 del Código de Agua” se señala que el empleo de derrames no implica un impuesto a la propiedad que los produce, ni derechos ni servidumbres sobre ellos,

estos deben organizarse a favor de terceros de modo legal a través de un título.

En relación al marco tarifario, las empresa sanitarias se rigen de acuerdo al costo por servicios entregados y regulados por el “DFL n° 70” del año 1988, “Ley de Tarifas”; ésta en el “artículo 6” ha establecido que las tarifas se calculan según las etapas del servicio sanitario (producción, distribución de agua potable, recolección y disposición de aguas servida); en este contexto debe ser considerado el costo de los sistemas correspondientes a cada etapa para optimizar el uso y notificar al usuario cada detalle de cobro.

Bajo esta premisa, la venta o cualquier otra actividad que se puede implementar dando uso a las aguas servidas tratadas se toma como un servicio no regulado, pues se trata de un subproducto de la etapa de tratamiento; por lo tanto, están presentes en el DFL n°70, “artículo 8” en el que indica que al tratarse de proyectos de expansión y sin perjudicar al mismo, siempre que se busque satisfacer demandas inherentes a servicios regulados por el prestador, debe ser considerado una parte del costo para la tarifas, la cual, va en consonancia con la proporción de uso de los activos de dicho proyecto; queda claro que el beneficio tarifario del servicio no regulado en cuestión, es producto de los servicios regulados que paga el cliente. Por otra parte, es conveniente que se conozca la postura de las distintas entidades en este tema.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) ha señalado en este contexto que la propiedad de las aguas servidas hayan sido tratadas o no, es un tema que se ha discutido y han realizado ajustes para fijar una posición acorde según su labor como organismo que regula y fiscaliza las empresas sanitarias; de este modo, desde el año 1995 han venido trabajando y han señalado que la propiedad de las aguas servidas tratadas corresponde a las empresas sanitarias, por tanto, pueden efectuar actos jurídicos para determinar precio y forma, manteniendo como premisa que “mientras las aguas no se abandonen” la organización puede disponer de las mismas

a su conveniencia (Peralta Anabalón, 2021).

Con el paso del tiempo, SISS en el año 2011 revisa su posición ante el dominio de las aguas servidas, estableciendo que se trata de una normativa de derecho público (que rige la relación entre particulares y entes públicos), cuya interpretación es aplicable a las aguas servidas que se puede ser aplicada a cauces, bien sea natural o artificial dejando por fuera las descargas al mar. Lo que indica que el servicio de tratamiento de aguas se regula, fiscaliza y tiene un costo establecido por la autoridad que le compete (Peralta Anabalón, 2021).

De acuerdo con lo descrito y según el marco de concesión de las empresas sanitarias, estas deben reservar y verter las aguas servidas al usuario siguiendo la normativa correspondiente en el punto de descarga establecido, para que la SISS fiscalice la calidad del recurso hídrico. No obstante, el documento admite que estas aguas sean utilizadas en infiltración de napas siempre que sigan el ciclo sanitario.

De esta forma, la empresa sanitaria tiene libertad para disponer del recurso hídrico y su uso en el cuerpo receptor establecido, siempre que esté claro en los decretos de la concesión, al igual que también debe ser regulado y fiscalizado por el ente correspondiente; así mismo, sí el usuario cancela el tratamiento de las aguas como servicio sanitario, de tal manera, que puedan ser utilizadas con seguridad en el medio ambiente, el usuario debe ser compensado en sus tarifas en función a la ganancia que recibe la empresa sanitaria (Peralta Anabalón, 2021; SISS, 2015; DIAgua, 2019). Cabe mencionar, que las tarifas, deben incluir todos los costos y gastos inherentes al proceso y abastecimiento del servicio (producir y distribuir agua potable, recolectar, disponer y tratar el agua servida); adicionalmente, se debe considerar el valor de los derechos de agua de acuerdo a lo previsto en la “Ley de Transparencia de Información”.

En el caso del cliente de la empresa sanitaria, este se corresponde con el propietario de los inmuebles urbanos, puesto que son parte de los servicios que presta dicha empresa; por tanto, gozan del acceso al agua potable y alcantarillado de la zona. Este servicio público debe ser permanente y de calidad, con tarifas establecidas, conocidas y brindar atención oportuna, además de otros beneficios. Por otra parte, tiene el deber de cancelar sus servicios de acuerdo con el beneficio recibido, asociado a la producción y distribución de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de las aguas para el reúso.

El cliente debe apegarse a lo precisado en el “artículo 39 del DFL 382”, en el que dice que le corresponde como propietario del inmueble, la instalación del arranque de agua potable, así como la unión al alcantarillado, en un tiempo menor a 1 año a partir de la puesta en explotación del sistema de redes, en su defecto desde que recibe la información de parte de la concesionaria; este escenario indica la obligatoriedad del uso de las redes para agua potable y para el alcantarillado de acuerdo a lo dispuesto en la Ley.

Lo descrito, señala que el cliente considera que las aguas servidas son desecho que le lleva a pagar por un servicio para que estas sean tratadas y dispuestas al medio ambiente; por tanto, son de su propiedad, de lo contrario, no les correspondería pagar por este servicio.

Ahora bien, en cuanto a la posición de la empresa de servicios sanitarios y las concesiones, se puede expresar que desde hace varios años se viene garantizando la propiedad de las aguas servidas; cabe señalar que 22 empresas están siendo representadas por la “Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS A.G.)”, abasteciendo de este servicio las localidades del país. De esta manera, las aguas servidas pertenecen a estas y no se obliga a la restitución de estas “artículos 5 y 7 de DFL” (Peralta Anabalón, 2021). La propiedad de las aguas servidas se modifica solamente en caso de derrame cuando se produce un abandono voluntario

del recurso hídrico (Vergara Blanco, 2020), lo que se interpreta como una extensión de propiedad en relación a los derechos de aprovechamiento (Díaz De Valdés Balbontín, 2015).

Es de resaltar que las empresas sanitarias consiguen la propiedad de las aguas al darle uso, por ocupación; esta se fundamenta en los derechos de aprovechamiento consuntivos, con el propósito de ser utilizados en la prestación del servicio (Ortega, 2021). En consecuencia, el cliente deja el residuo de agua potable (desecho) y las empresas sanitarias lo toman, por ocupación y lo disponen con responsabilidad en beneficio del medio ambiente, siguiendo las medidas de seguridad pertinente (Ortega, 2021). Bajo esta perspectiva, las empresas sanitarias disponen de uso y goce de las aguas servidas tratadas, puesto que se corresponde con un acto lícito y legítimo, la prestación de servicios sanitarios (Vergara Blanco, 2020).

Algunos casos concretos han dejado por sentado la venta de aguas servidas por parte de empresas que son propietarias, las prestaciones correspondientes recaen en el marco de los servicios no regulados de dicha empresa, tal como lo señala la SIS (oficios del 2011) en las Bases Definitivas del Estudio Tarifario de la empresa (Ballivian Searle, 2018). Aunado a esto, la Dirección General de Aguas (DGA), ha realizado su aporte en relación a la propiedad de las aguas servidas tratadas (Oficio n°575 del año 2001), en este documento se precisa que la titularidad y dominio de las aguas servidas es de la empresa sanitaria propietaria de las instalaciones; mientras que las aguas consumidas por el usuario y que desecha posteriormente son consideradas derrame, por tanto, son vertidas en instalaciones de las empresas sanitarias y les da el derecho de utilizarlas con libertad, hasta que sean vertidas en redes de otro prestador de servicio (Vergara Blanco, 2020).

Por su parte, la posición de los regantes que son los usuarios de estas aguas servidas, esta depende de los derechos de aguas que otorga el Estado en cuerpo superficiales (ríos y canales),

para ello, se crearon asociaciones a nivel nacional de regantes con el propósito de distribuir las aguas del caudal matriz entre los propietarios de derechos, así como también, trabajar en la construcción, explotación, conservación y mejoramiento de aquellas acciones en las que puedan ser aprovechadas, tal como se indica en el artículo 186 del Código de Aguas. Es importante que se vele por las condiciones sanitarias de estas aguas, manteniendo control de fuentes de aguas servidas crudas que puedan contaminar y provocar problemas de sanidad al ser usadas por agricultores en sus cultivos y otros fines (Peralta, 2021).

En este contexto es de gran relevancia, que las empresas sanitarias informen acerca del punto de descargas de sus aguas servidas tratadas para su correspondiente fiscalización y, garantizar con ello, el cumplimiento de los estándares del DS90/2000. Se trata entonces de reutilizar las aguas conservando las condiciones sanitarias sin generar problema alguno. Los usuarios de esta agua a lo largo de la historia han tenido el derecho de disponer de ellas, es decir, antes y después de las PTAS, lo que indica que las políticas y normativas establecidas siempre han tomado en cuenta dicha premisa de uso (Peralta, 2021).

Los usuarios han considerado que la propiedad de las aguas servidas se fundamenta en que la restitución de las mismas a los cauces naturales proporcionan una parte de los “derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos” que estos poseen (CNR, 2004). Por otra parte, la concesión otorgada indica que deben verter las aguas servidas en un punto de descarga definido y conocido para dar cumplimiento a la reposición de caudales y que puedan ser tomados aguas abajo por otros propietarios de derechos de aprovechamiento (AIDIS, 2016). Si se da el caso de vender las aguas servidas, es claro que el propietario actual disminuye su caudal de acuerdo al volumen de la venta efectuada, esto constituye un delito que viola el derecho de propiedad y es enriquecimiento ilícito de la concesionaria; de igual modo, establecer tarifas a las actividades de

reutilización de aguas servidas no es competencia de las empresas sanitarias, dado que los propietarios son los mismo que poseen el “dominio de los derechos de aprovechamiento de aguas del cauce” (AIDIS, 2016).

En este contexto, el Ministerio de Agricultura ha señalado que las empresas sanitarias no deben ocasionar derrames, dado que no tienen el “título de derecho de aprovechamiento sobre las aguas” pues lo entregó al usuario (Ortega, 2021) esto evita que pueda conformar desde la vía jurídica un derrame. En consecuencia, las empresas sanitarias no poseen derechos sobre las aguas, su rol es el de “tenedora temporal de las aguas”. El ministerio también ha sido enfático al precisar que los derechos de agua de los usuarios provienen de aguas servidas, razón por la cual, no se les puede privar de dichos derechos sin fundamento legal. Ratifica igualmente, que las empresas sanitarias deben restituir las aguas servidas en un punto de descarga sin perjudicar el derecho de los regantes (CNR, 2004).

Bajo esta perspectiva, se han venido presentando disputas entre los regantes y los entes vinculados con la venta de las aguas servidas tratadas, entre ellos, se discute acerca de la propiedad de las aguas, así como el daño ambiental que puede ocasionar la escasez de agua en alguna región (Confederación de Canalistas Chile, 2008); por esta razón, se han establecido distintas normativas que tratan de abarcar las diferentes problemáticas, incluso han llegado a establecer, además de los puntos de descarga obligatorios, el volumen de caudal que debe llegar a un canal determinado, evitando la afectación de cualquier comunidad (CNR, 2004).

Teniendo un panorama que de algún modo explica los términos de manejo de las aguas servidas tratadas de acuerdo a la normativa pertinente, conviene ahora describir el procedimiento a seguir para efectuar el reúso de aguas servidas tratadas, para ello es necesario señalar lo siguiente:

Para hacer el reúso de aguas servidas tratadas se debe seguir lo indicado en el oficio n°2725 del año 2011 y n° 4278 del año 2018 de SIIS, en el que se establece “la disposición de las aguas servidas o su tratamiento para la evacuación en cuerpos receptores en condiciones ambientales y sanitarias” (DS90/2000), este servicio es normado y la disposición debe ser realizada en el punto de descarga convenido antes de la concesión, para que pueda ser regulado, fiscalizado y tarifado por la autoridad competente. A pesar de ello, se propician acciones para reusar parcial o totalmente estas en el mismo ciclo sanitario, a través de la infiltración de napas o reúso directo con el fin de producir agua potable haciendo un reinicio del ciclo sanitario.

Bajo este contexto, para hacer reúso de las aguas servidas tratadas se debe realizar una modificación a la disposición de estas aguas, esto es, al “decreto de concesión” y a la “Ficha de Antecedentes Técnicos y programa de desarrollo”, para ello es necesario que el propietario cumpla con los siguientes trámites:

- ✓ Resolución fundada de la Superintendencia de Servicios Sanitarios
- ✓ Trámites de toma de razón
- ✓ Ajustes establecidos en la Guía Técnica de Elaboración de los Planes de Desarrollo
- ✓ Efectuar los estudios, de autorización y permisos (de acuerdo al caso)
- ✓ Ajustes al Plan de desarrollo

En este punto también conviene señalar, la norma Chilena Oficial NCh 1333 Of 78 modificada en 1987, la misma ha establecido los requisitos y los criterios de calidad del agua según el fin para el que se destina, de esta forma, se busca la conservación y la protección de este

recurso hídrico. Bajo esta premisa, la norma establece que para agua de riego, el pH debe estar comprendido entre 5,5 y 9,0 unidades; por otra parte, con respecto a la presencia de los elementos químicos los valores máximos permisibles en agua de riego, todo debe ser acatado por el propietario, dichos valores se pueden observar en la tabla 6:

**Tabla 6:** Valores permisibles de elementos químicos

<b>Elemento</b>	<b>Límite máximo (mg/l)</b>
Aluminio (Al)	5,00
Arsénico (As)	0,10
Bario (Ba)	4,00
Berilio (Be)	0,10
Boro (Bo)	0,75
Cadmio (Cd)	0,01
Cianuro (CN)	0,20
Cloruro (Cl)	200,00
Cobalto (Co)	0,05
Cobre (Cu)	0,20
Cromo (Cr)	0,10
Floururo (F <sup>-</sup> )	1,00
Hierro (Fe)	5,00
Litio (Li)	2,50
Litio (cítricos)	0,075
Manganeso (Mn)	0,20
Mercurio (Hg)	0,001
Molibdeno (Mo)	0,01
Níquel (Ni)	0,20
Plata (Ag)	0,20

Plomo (Pb)	5,00
Selenio (Se)	0,02
Sodio porcentual (Na)	35,00
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	250,00
Vanadio (Va)	0,10
Zinc (Zn)	2,00

**Fuente** Norma Chilena Oficial NCh 1333 Of 78 modificada en 1987. Algunas condiciones y excepciones aplican según el caso

**Tabla 7:** Valor de Conductividad específica (c) y Sólidos disueltos totales (s)

<b>Clasificación</b>	<b>Conductividad específica (c) <math>\mu</math> mhos/cm a 25° C</b>	<b>Sólidos disueltos totales (s) mg/l a 105° C</b>
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1500 < c \leq 3000$	$10500 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadoso	$1500 < c \leq 3000$	$2000 < s \leq 5000$

*Nota:* La medida "mhos" es una unidad de conductancia eléctrica, que es la capacidad de un material para permitir el paso de una corriente eléctrica.

**Fuente** Norma Chilena Oficial NCh 1333 Of 78 modificada en 1987

La norma en cuestión también establece la actuación en caso de pesticidas, de este modo,

en el caso de los herbicidas la autoridad competente debe pronunciarse según el caso; cuando se trata de insecticidas las autoridades han considerado que estos no son dañinos para el agua de riego.

Se puede mencionar en este escenario, el Decreto 90 en el que establece la “emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales” (07-mar-2001). Esta normativa es clara al establecer la concentración máxima permitida del contaminante por día, señala que las aguas servidas y tratadas dejan de ser fuente emisora en el momento en que superan los valores indicados. Por esta razón, la norma mencionada ha indicado el procedimiento para hacer el cálculo de la tasa de dilución y la metodología que permite llevar el control y seguimiento a través del monitoreo, toma de muestras, medida de caudal y los métodos de análisis sugeridos, de esta forma se le dan instrucciones precisas al propietario.

Cabe recalcar, que todos los procedimientos de fiscalización son competencia de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante y a los Servicios de Salud

Por otra parte, se puede también mencionar el “Proyecto de ley, iniciado en Moción de los Honorables Senadores señoras Allende y Provoste, y señores Bianchi, Castro Prieto y Latorre, con la que regula y fomenta los sistemas de tratamiento y de reutilización de aguas residuales”. Este se fundamenta en el argumento de que Chile se encuentra entre los 30 primeros países a nivel mundial que están presentando estrés hídrico, esto se proyecta con gran preocupación para el 2040; en este contexto, es prioritario el fortalecimiento de la institucionalidad vigente, de tal manera, que se incremente paulatinamente el reúso de aguas residuales tratadas como fuente de

agua ante las dificultades, dando máximo aprovechamiento al recurso en todo el país para los venideros años.

En este país, han surgido diversas iniciativas legales, otra de las ya mencionadas es la Ley 21.075, Ley de Aguas Grises, que el reuso de solo una parte de estas aguas, así como también, hace mención a varios factores que inciden en la reutilización, sistema de tratamiento complicados, la calidad que exige está muy alejada a la vigente en las Plantas de Tratamiento, entre otros. En consecuencia, se busca con toda la normativa aportar soluciones a la problemática dando máximo aprovechamiento al recurso hídrico disponible.

En este proyecto se menciona que la Ley 21.075 se centra en el tratamiento de aguas grises para ser utilizada en ciertos sectores, pero no hace alusión al reuso de aguas residuales que han de ser descargadas a través de emisarios submarinos y el sistema de tratamiento que deben recibir; también se hace mención a la necesidad de legislar en relación a las normas específicas para el reuso de aguas residuales en zonas rurales, pues sólo norma la descarga de los caudales a los afluentes naturales y las condiciones de calidad que debe cumplir el agua para riego (D.S. N° 90 o la Norma Chilena NCh 1333/78).

Bajo esta perspectiva se ha precisado en este anteproyecto la prioridad para las iniciativas de reuso de aguas residuales tratadas mejorando las condiciones de los sectores vulnerables mediante la generación de beneficio de índole social, ambiental y productivo. Ante esto, es imprescindible que las aguas residuales descargadas provenientes de emisarios submarinos sean tratadas y deban cumplir con la calidad exigida según Decreto Supremo N° 90/2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que “norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”. De esta manera, el recurso hídrico puede ser utilizado en diferentes actividades,

garantizando, a través de la tecnología de aplicación de las aguas residuales tratadas reusadas, la inocuidad y seguridad para el ser humano y para el medio ambiente.

En este sentido, los prestadores de servicios sanitarios tienen el deber de hacer uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales en aguas descargadas a través de emisarios submarinos, de esta manera depuran y pueden emplear por lo menos un 35% de este recurso al mes; aunado a esto, los responsables industriales de los emisarios submarinos deben poner en práctica sistemas de tratamiento para hacer el reúso de estas aguas. En consecuencia, estos proyectos cuya iniciativa es el reúso del recurso hídrico deben estar orientados al mejoramiento de la gestión del recurso, dando prioridad de uso a usuarios vulnerables y presentando esquemas de trabajo sostenibles en los ámbitos económico, social y ambiental.

Recientemente, en 2018 Jaque (2024) hace alusión a la publicación realizada en el Diario Oficial la Ley N.º 21.075, “que regula la recolección, reutilización y disposición de las aguas grises”, al igual que establece los requisitos y condiciones que permiten el desarrollo de iniciativas de reutilización de aguas grises; en dicho reglamento, el artículo 7 señala que los Sistemas de Recolección de Aguas Grises (SRAG) deben ser aprobados por la autoridad sanitaria regional (“SEREMI de Salud”) para que se puedan poner en funcionamiento, esto implica que el interesado debe solicitar la aprobación del proyecto de acuerdo a lo mencionado en el artículo 3.º de la Ley.

Cabe acotar que el usuario luego de hacer la solicitud de aprobación espera la resolución correspondiente. Una vez que se da la autorización de funcionamiento del SRAG, debe aún, seguir algunos pasos; es decir, tiene un plazo de autorización de tres años, según lo expuesto en el artículo 7.º del Decreto con Fuerza de Ley del Ministerio de Salud Pública N.º 725/1967; se

determinan el uso que tendrán las aguas grises tratadas y con ello los criterios de calidad a cumplir.

El Reglamento en cuestión ha establecido dos tipos de autorizaciones para el funcionamiento de un SRAG, en primera instancia, la autorización que se corresponde con el proyecto y una vez que se ha consolidado, la autorización de funcionamiento, en la que se debe describir en detalle el contenido de cada solicitud de acuerdo al tipo de sistema. Cuando se trata de zonas rurales, es suficiente la autorización de la SEREMI de Salud, a diferencia de las zonas urbanas donde debe contarse con la aprobación del proyecto por parte de las concesionarias de servicios sanitarios (aspecto que no ha considerado la Ley), siguiendo las instrucciones dictadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (Jaque, 2024).

#### **6.4 Solución propuesta para el intercambio de aguas servidas**

Finalmente, para complementar el análisis realizado en este estudio, se presenta una propuesta de intercambio de aguas servidas tratadas por aguas crudas, esto con el objetivo de ser utilizadas para el riego agrícola. Por esta razón, se realiza una evaluación técnica y económica en el cual se consideren aspectos como la conducción, elevación y el tratamiento de aguas servidas hasta el punto de intercambio.

No obstante, con relación al caudal de diseño, se consideran los siguientes datos suministrados por la ESVAL, sobre el caudal máximo:

- Caudal máximo corresponde al promedio de los caudales máximos recibidos por ESVAL en su planta de tratamiento desde el mes de octubre 2023 a septiembre del 2024.

- Así mismo, se considera un factor de seguridad del 50%, esto debido a posibles incrementos en el caudal. No obstante, se presenta a continuación el análisis para el caudal de diseño:

**Tabla N° 8:** Análisis del Caudal de Diseño

Mes	Caudal Máximo Puntual (l/s)
oct-23	253,92
nov-23	268,05
Dec-23	234,67
Jan-24	220,38
feb-24	237,6
mar-24	252,94
Apr-24	254,79
may-24	274,59
jun-24	359,24
jul-24	352,36
Aug-24	401,98
sept-24	255,9
<b>Caudal de Diseño Promedio (l/s)</b>	<b>280,535</b>
<b>Caudal de Diseño (m3/s)</b>	<b>0,280535</b>
<b>Factor de Seguridad (50%)</b>	<b>0,4208025</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Así mismo, con respecto a la conducción, se consideran aspectos técnicos tales como distancias, presión y diámetros, por lo que se seleccionan tuberías de acero helicoidal revestido. Esto considerando que este tipo de tuberías ofrecen durabilidad, resistencia a la corrosión, facilidad de instalación y bajo mantenimiento, lo que las convierte en una opción eficiente y económica.

De esta forma, para el diseño de la conducción se analizará la opción de acueducto e impulsión, debido a la fuerza de gravedad y a la presión que genera la bomba. En tal sentido, con el objetivo de calcular la conducción se considerarán los siguientes aspectos:

- La velocidad máxima a considerar corresponderá a 2 m/s.

- Con relación a las pérdidas friccionales se utilizará la fórmula de Hazem – Williams, con coeficiente de rugosidad de 120. Esto considerando que se trata de un material de acero que conduce aguas servidas.

$$hf = 10.67 * (L / (C^{1.85} * D^{4.87})) * Q^{1.85}$$

donde:

hf: pérdida de carga debido a rozamiento [m]

Q: caudal [m<sup>3</sup>/s]

d: diámetro interior [mm]

C: coeficiente de rugosidad de Hazem Williams

L: longitud tubería [m]

- La conducción de las aguas servidas considera el transporte de estas desde la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (ESVAL) ubicada en Placilla, comuna de Valparaíso, al punto de entrega correspondiente a la comuna de Casablanca.
- De acuerdo con lo anterior, se considera parte del camino el Lago Peñuelas, por lo que se cuenta con una longitud total de 32 km (32.000 mts)
- Se considera el recorrido partiendo de la planta de tratamiento en Placilla, por la ruta F-718 y conectar con el acueducto Casablanca, hasta llegar a la comuna de Casablanca.

No obstante, considerando lo anterior, se presenta a continuación el mapa de la ruta de conducción:

**Figura 21:** Mapa de conducción de aguas servidas desde el emisario



**Fuente:** Elaboración propia

En tal sentido, al realizar la sustitución de los valores de la pérdida de carga obtenemos como resultado el siguiente valor:

$L = 32000$  m (longitud de la tubería)

$Q = 0,4208$  m<sup>3</sup>/s (caudal)

$C = 120$  (coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams)

$d = 0,51$  m (diámetro interior de la tubería)

$$hf = 10.67 * (L / (C^{1.85} * D^{4.87})) * Q^{1.85} = 245 \text{ m}$$

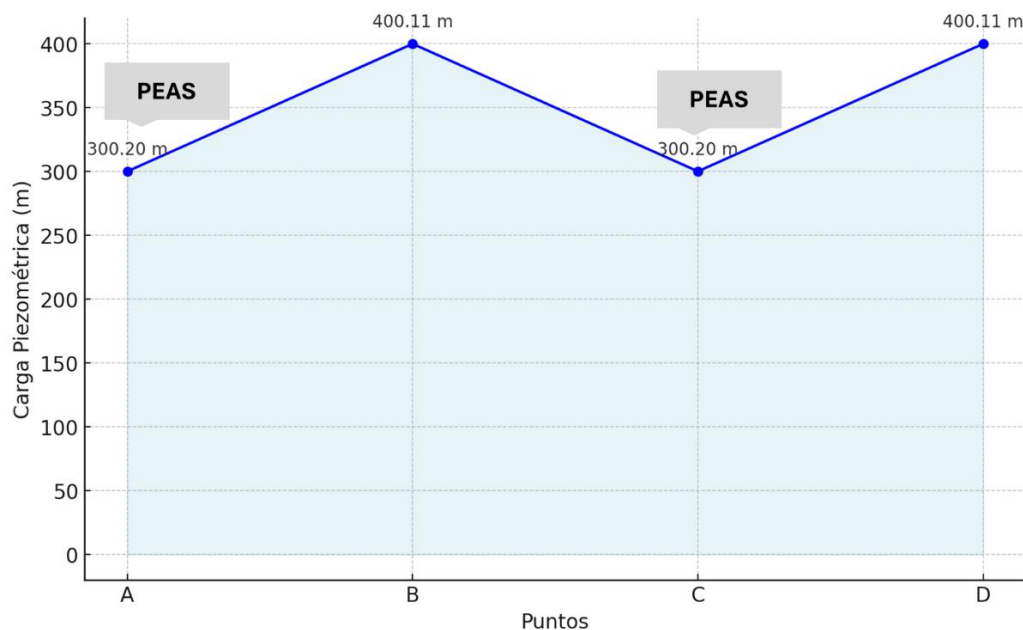
De esta manera, para el diseño de las plantas elevadoras de aguas servidas es necesario determinar las cargas asociadas al sistema, la pérdida de carga, las cotas y presiones. Por lo tanto, a continuación, se presenta la tabla 9, en la cual se detallan los datos de diseño de la conducción:

**Tabla N° 9:** Datos diseño de la conducción

Puntos	Caudal (Q M3/S)	Altura Bruta (h <sub>bv</sub> (m/s))	Tirante (m)	
A	0.4208	300	2	0,002527 Presion
B	0.4208	400	1,5	0,002839 Acueducto
C	0.4208	300	2	0,002527 Presion
D	0.4208	400	1,5	0,002839 Acueducto

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 22:** Perfil piezométrico



**Fuente:** Elaboración propia

No obstante, con los datos obtenidos se realiza el cálculo de las bombas a utilizar para el sistema de impulsión, para el cual se considerará n+1 bombas, esto con la finalidad de contar con una bomba de reserva, por lo que se presenta a continuación el Diseño de Bombas y potencias:

**Tabla N° 10:** Datos diseño de la Bomba

	Caudal	Altura	N° bombas	potencia diseño kw
PEAS	0,4208	344,91	2+1	1603

**Fuente:** Elaboración propia

Así mismo, es importante mencionar que para el cálculo de la potencia de diseño se utilizó la formula:

$$\text{Potencia de diseño [kW]} = (Q \times (H_b + h_f) \times \rho \times g) / (1000 \times \eta)$$

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s) = 0.4208

H<sub>b</sub>: Altura manométrica (m) = 99.91

H<sub>f</sub>: Perdida de carga (m) = 245

ρ: Densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

η: Eficiencia de la bomba (adimensional)

Realizando la sustitución de los datos obtenemos el siguiente resultado:

$$\text{Potencia de diseño} = (0.4208 \times 344.91 \times 1000 \times 9,81) / (1000 \times 0,85)$$

$$\text{Potencia de diseño} = 1603 \text{ kW}$$

Por otra parte, con relación al tratamiento del agua, para la ejecución del proyecto se selecciona una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de lodos activados. Esto considerando

que permite obtener las calidades y características requeridas para el riego en el sector de la agricultura.

Finalmente, se presenta a continuación los costos asociados al proyecto, teniendo en cuenta tanto los costos directos como los indirectos. Los costos indirectos corresponden al histórico de obras especiales de la ESVAL, considerando el tamaño del proyecto:

**Tabla N° 11:** Análisis de costos del proyecto

COSTOS DE INVERSION UF			
DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
BOMBAS	3	889	2667
TUBERIAS ACUEDUCTO	17567	5,93	104172
TUBERIAS A PRESION	17567	10,95	192359
PTAS	1	2487414	2487414
FAENA-INGENIERIA-INSPECCION	1	1105725	1105725
INGENIERIA	1	115087	115087
INSPECCION	1	137100	137100
		TOTAL UF	4144523,96
		VALOR UF	38387
		<b>TOTAL CLP</b>	<b>\$ 159.095.841.253</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En tal sentido, tal como se evidencia en la tabla anterior el costo total de la implementación del proyecto corresponde a 159.095.841.253 CLP, lo cual permitiría tratar las aguas servidas y trasladarlas unos 32.000 metros lo que representa todo el trayecto desde la PTAS, hasta la comunidad de Placilla, en la cual será utilizada para el riego agrícola. No obstante,

considerando que el proyecto tendrá una duración estimada de 20 años, se determinó el costo por litro, con base a los siguientes datos:

- Caudal =  $0,4208 \text{ m}^3/\text{s} = 420,8 \text{ litros/seg}$
- 1 día = 86.400 segundos
- Volumen diario =  $420,8 \times 86.400 = 36.357.120 \text{ litros/día}$
- Duración del proyecto =  $20 \text{ años} \times 365 \text{ días} = 7.300 \text{ días}$
- Volumen total en 20 años =  $36.357.120 \times 7.300 = 265.406.976.000 \text{ litros}$

De esta forma, con los resultados obtenidos se procede a realizar el cálculo del costo por litro para el proyecto, considerando lo siguiente:

- Costo total del proyecto = CLP 159.095.841.253
- Volumen total tratado en 20 años = 265.406.976.000 litros
- Costo unitario por litro =  $159.095.841.253 / 265.406.976.000 \approx \text{CLP } 0,60 \text{ por litro}$

Por otra parte, para complementar el análisis anterior, se presenta a continuación una comparativa de las propiedades de agua trata en la ESVAL con respecto al DS 90:

**Tabla N° 12:** Comparativa de propiedades agua tratada ESVAL versus DS 90

Comparativa de agua tratada ESVAL y concentraciones maxima DS 90				
Propiedades del Agua para Riesgo ESVAL		LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LIQUIDOS		
Elemento	Dato	Elemento	Dato	Estatus
AyG [mg/L]	<0,40	AyG [mg/L]	20,0	Cumple
DBO5 (mg/L)	26	DBO5 (mg/L)	35,00	Cumple
DQO (mg/L)	26	DQO (mg/L)	-	-
SST (mg/L)	13,2	SST (mg/L)	80,00	Cumple
NKT (mg/L)	2,72	NKT (mg/L)	50,00	Cumple
Fósforo [mg/L]	0,36	Fósforo [mg/L]	10,00	Cumple
PE (mm)	<7	PE (mm)	7,00	Cumple
Cobre [mg/L]	<0,01	Cobre [mg/L]	1,00	Cumple
TCE (mg/L)	0,00487	TCE (mg/L)	-	-
TCM (mg/L)	0,00962	TCM (mg/L)	0,20	Cumple

**Fuente:** Elaboración propia

Con base en el análisis realizado, el agua tratada por ESVAL cumple con los requisitos establecidos en el Decreto Supremo 90 para los parámetros especificados, ya que esta es tratada mediante lodos activados. Sin embargo, es importante mencionar que se requiere realizar un análisis adicional para determinar si el agua tratada cumple con los límites máximos establecidos en la Ley 1333, la cual establece los criterios de calidad del agua según su uso, como por ejemplo, uso humano, riego, vida acuática, entre otros.

## CONCLUSIONES

Para el presente proyecto de investigación, una vez logrado la consecución de los objetivos planteados, se generaron las siguientes conclusiones:

Se concluye que la comuna de Casablanca es una zona potencial para el reúso de aguas servidas tratadas. Esto debido a que presenta un excedente de superficie agrícola que podría ser regada con el agua tratada, lo que permitiría aliviar la presión sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Además, el análisis de la demanda de agua en Casablanca muestra que el consumo per cápita se mantendrá por encima de los 175 L/hab/día en los próximos años, lo que evidencia la necesidad de implementar alternativas como el reúso de aguas servidas.

El reúso de aguas servidas tratadas representa una alternativa factible y viable para enfrentar el déficit hídrico en la Región de Valparaíso, particularmente en la comuna de Casablanca. Esta medida permitiría aliviar la presión sobre los recursos hídricos tradicionales y contribuir a la sostenibilidad de la actividad agrícola en la región.

Así mismo, se concluye que el reúso de aguas servidas tratadas es una práctica ampliamente implementada a nivel internacional, con países como Israel y España liderando en la reutilización de este recurso, principalmente para fines agrícolas. Estas experiencias demuestran la viabilidad técnica y los beneficios ambientales y económicos que puede aportar el reúso de aguas servidas.

De esta forma, las experiencias internacionales y nacionales de reúso de aguas servidas tratadas demuestran que esta es una solución factible y con múltiples beneficios, lo que respalda la viabilidad de implementar proyectos de esta naturaleza en la Región de Valparaíso.

No obstante, se concluye que el marco legal chileno presenta algunas ambigüedades respecto a la propiedad de las aguas servidas tratadas, lo que ha generado debate y posiciones encontradas entre las empresas sanitarias y el ente regulador. Por lo tanto, se han establecido mecanismos para permitir el reúso de este recurso, siempre que se cuente con las autorizaciones y modificaciones correspondientes en los decretos de concesión. Esto evidencia la factibilidad legal de implementar proyectos de reúso de aguas servidas tratadas, como una alternativa para enfrentar el déficit hídrico en la Región de Valparaíso.

Por otra parte, se concluye que en la actualidad ESVAL cumple con los parámetros establecidos en el DS90 el cual establece las normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Sin embargo, es importante complementar este análisis con los criterios de calidad del agua establecidos en la Ley 1333, para que el agua tratada sea apta para el riego en la comunidad de Casablanca.

Por último, se concluye que el análisis de costos indica que la inversión total del proyecto asciende a 159.095.841.253 CLP, abarcando tanto costos directos como indirectos. Esta inversión permitiría el tratamiento y traslado de las aguas servidas a lo largo de 32.000 metros, asegurando su aprovechamiento en la comunidad de Casablanca para fines agrícolas, optimizando el recurso hídrico disponible y promoviendo un uso sustentable del agua en la región.



## RECOMENDACIONES

Establecer acuerdos y convenios con las empresas sanitarias concesionarias en la región, a fin de obtener las autorizaciones y modificaciones necesarias en los decretos de concesión para permitir el reúso de las aguas servidas tratadas. Esto debe realizarse en coordinación con la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

Desarrollar un programa de capacitación y asistencia técnica dirigido a los agricultores, que les permita adoptar buenas prácticas en el manejo y aplicación de las aguas servidas tratadas para riego, asegurando la inocuidad de los cultivos y la protección del medio ambiente.

Implementar un sistema de monitoreo y seguimiento de los proyectos de reúso de aguas servidas tratadas, que permita evaluar los impactos ambientales, productivos y socioeconómicos, y realizar los ajustes necesarios para optimizar el desempeño de estos proyectos en el tiempo.

Incorporar sensores y sistemas de telemetría para monitorear en tiempo real el caudal, presión, calidad del agua y eficiencia del bombeo. Esto facilitaría una gestión más eficiente del recurso hídrico, permitiendo detectar posibles fugas, optimizar la operación y reducir el mantenimiento correctivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDIS. (2016). Edición especial: Reúso de aguas servidas tratadas. Fortalezas y debilidades. El costo de no reusar
- Alcalde Sanz, L. (2012). Evaluación y gestión del riesgo asociado a la reutilización de aguas residuales.
- Alcudia Pérez, D., García Romero, A. P., & López Gonzaga, A. (2022). Estrés hídrico: problemáticas y soluciones. Un análisis con enfoque jurídico.
- Almansa, É., Velásquez, J., y Rodríguez, G. (2018). Efecto del uso de aguas provenientes de la producción petrolera en actividades agrícolas y pecuarias.
- ANA (2011). Gestión del agua y oportunidades para el desarrollo profesional. Imágenes y apuntes para un coloquio amigable con las universidades. [www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1\\_gestion\\_del\\_agua\\_en\\_peru\\_ing\\_atp\\_0\\_2.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1_gestion_del_agua_en_peru_ing_atp_0_2.pdf)
- ANA (2020). Cuentas ambientales y económicas del agua en el Perú. Documento Técnico 2018. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4705>
- ANA (s.f.). El agua en cifras. <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- ANA. (2022). Agência Nacional de Águas e Saneamento. Conjuntura dos Recursos Hídricos. In Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. <https://www.snirh.gov.br/portais-centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- Arancibia Pérez, K. E. (2022). Análisis de factibilidad para el reúso de aguas servidas tratadas con aplicación en riego en Chile.

Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>

Ávalos, O. (2020). Gestión del reúso de aguas residuales tratadas en el Perú

Bahamón, A. (2020). Retos sectoriales para avanzar en materia de sostenibilidad ambiental. Presentación en el marco de la Mesa de Políticas Públicas de la Coalición Agua para Colombia.

Ballivian Searle, P. (2018). Reúso de aguas servidas tratadas: Desafíos en la regulación para un uso eficiente del recurso hídrico. *Revista Derecho Aplicado - LLM UC*, 2 ,1–21. doi: 10.7764/rda.0.2.123.

Banco Mundial (2020). El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

Banco Mundial. (2010). Informe anual 2010.

Baraño, P. A., y Tapia, L. A. (2004). *Tratamiento de las Aguas Servidas: Situación en Chile* (n.o 1).

BCN. (s.f.-b). *Hidrografía Región de Valparaíso*, <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/hidrografia.htm>

Becerra, A. (2018). Factibilidad de uso de aguas grises en la conservación de áreas verdes urbanas, una aproximación desde la perspectiva del hábitat residencial.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151889>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (s.f). Hidrografía Región de Valparaíso. Chile

Nuestro País. [https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index\\_html](https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index_html)

Celedon, E., y Alegría, M. (2004). Análisis del proceso de privatización de los sistemas de agua potable y saneamiento urbanos en Chile. *Rega*, 1 (2), 65–85.

CEPAL (2022). Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe

Chicaiza Narváez, M. R., & DT Pazmiño, F. (2015). La forma de disposición de las aguas servidas y su incidencia en el buen vivir de los pobladores de la urbanización “Mariana Sánchez”, del barrio El Recreo, cantón Puyo, de la provincia de Pastaza (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).

CNR. (2004). Diagnóstico actual de la utilización de aguas servidas tratadas en riego, región Metropolitana

Coalición Agua para Colombia. (2020). Memorias del Seminario de Economía Circular con enfoque en gestión del recurso hídrico. <https://www.coalicionaguacolombia.org/publicaciones/>

Confederación de Canalistas Chile. (2008). *Cuenta sobre actividades de la Confederación de Canalistas de Chile, Periodo 01.01.2008 al 31.12.2008.*

Consorcio N yV Caltiz. (2020). Producto III. Documento con las técnicas de reúso doméstico, industrial, drenaje agrícola y uso de aguas lluvias implementables en Colombia.

De Albuquerque, C. (2012). Informe de la Relatora Especial sobre el derecho humano al agua potable y el saneamiento. Adición. Misión al Uruguay. Naciones Unidas. Asamblea General. A/HRC/21/42/Add.2.

[http://www.ursea.gub.uy/wps/wcm/connect/b74dd8004d0aade4808adc49de4877b2/Informe+Relatora+Esp+derecho+humano+al+agua+c+respuesta+de+uruguay.pdf?](http://www.ursea.gub.uy/wps/wcm/connect/b74dd8004d0aade4808adc49de4877b2/Informe+Relatora+Esp+derecho+humano+al+agua+c+respuesta+de+uruguay.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=b74dd8004d0aade4808adc49de4877b2)

[MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=b74dd8004d0aade4808adc49de4877b2](http://www.ursea.gub.uy/wps/wcm/connect/b74dd8004d0aade4808adc49de4877b2/Informe+Relatora+Esp+derecho+humano+al+agua+c+respuesta+de+uruguay.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=b74dd8004d0aade4808adc49de4877b2)

Decreto 90 establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>

De la Torre, F. B. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. Cuadernos de estrategia, (186), 21-70.

DGA. (2016). Atlas del Agua Chile 2016.

DGA. (2017). Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/04%20Resumen%20Ejecutivo/Resumen%20Ejecutivo.pdf>

DGA. (2018). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro.

DGA. (2019a). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de la macrozona Sur y parte norte de la macrozona Austral.

DGA. (2019b). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de la parte sur de la macrozona Austral e Isla de Pascua

DGA. (2022). Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. En *Boletín febrero 2022*.  
<https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Informacin%20Mensual/Boletin%20DGA%20diciembre%202022.pdf>

DI Agua. (2019). Desarrollo de un Modelo Regulatorio-Institucional-Financiero que Viabilice el

Díaz De Valdés Balbontín, J. (2015). Aguas servidas. Análisis jurídico de su dominio y uso (Vol. N° 5).

DINAMA-MVOTMA. (2009). Informe Nacional de Estado del Ambiente. Montevideo, Uruguay. <http://www.mvotma.gub.uy/index.php/estado-del-ambiente/item/10003812>

Dirección de aguas España. (2020). Fomento de la reutilización de las aguas residuales. Informe complementario.

Dirección general de aguas (DGA) (2024). Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado De Embalses Y Aguas Subterráneas. *Boletín N° 57*.  
[https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Informacin%20Mensual/Informe\\_Septiembre\\_2024.pdf](https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Informacin%20Mensual/Informe_Septiembre_2024.pdf)

Domínguez, A. (2003). La gestión sustentable del agua en Uruguay. Redes-Uruguay Sustentable <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd16/dominguez.pdf>

Escribano Rodríguez de Robles, B. (2007). Una visión sostenibilista sobre la escasez del agua dulce en el mundo. Escribano, E.(2007)." Una visión sostenibilista sobre la escasez del

agua dulce en el mundo", Revista Internacional de Tecnología, Sostenibilidad y Humanismo, diciembre 2007, núm. 2, p. 85-107.

ESVAL S.A. (2014). Modelamiento y valorización de obras especiales. Periodo 2015-2020.

ESVAL. (2022). *Balance de ESVAL: 2021 finalizó con grave déficit de precipitaciones y nieve acumulada.* <https://www.esval.cl/personas/noticias/listado-de-noticias/balance-hidrico-2021/>

Europa,P(2019). España, a la cabeza de Europa en reutilización de agua residual tratada con Murcia. [europa-reutilizacion-agua-residual-tratada-murcia-cvalenciana-baleares-](#)

Falkenmark, M. and Widstrand, C. (1992). Population and water resources: A delicate balance. *Population Bulletin* 47(3): 1-36. Nov.

FCH. (2018). Fundación Chile. Claves para la gestión de aguas residuales rurales. *Fundación Chile*. Chile. P. 96.

González, A.; Rezzano, N.; Indarte, E. (2008). Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros. Diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de efluentes. Convenio CONAPROLE-IMFIA-DINAMA-MVOTMA. Montevideo, Uruguay

Greenpeace. (14 de octubre de 2020). Enfrentamos una situación crítica de disponibilidad de agua para Santiago. Obtenido de <https://www.greenpeace.org/chile/noticia/greenpeace/enfrentamos-una-situacion-critica-de-disponibilidad-de-agua-para-santiago/>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Distrito

Federal, México: McGraw-Hill / Interamericana Editores

<https://www.elindependiente.com/economia/2023/05/07/israel-el-paradigma-de-la-reutilizacion-de-agua-que-ha-acabado-con-la-escasez/>

<https://www.europapress.es/sociedad/medio-ambiente-00647/noticia-espana-cabeza->

IDEAM. (2022). Estudio Nacional del Agua. Bogotá.

INE. (2007). VII Censo nacional agropecuario y forestal.  
<http://www.ine.gob.cl/censoagropecuario>

INE. 2022. VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. <https://www.ine.gob.cl/censoagropecuario>

INN. (1978). NCh1333: Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.

INN. (2019a). NCh3456/04: Directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de riego — Parte 4: Seguimiento.

INN. (2019b). NCh3483: Directrices para la clasificación del grado de calidad del agua para el reúso de agua.

INN. (2019c). NCh3462/1: Reúso de agua en zonas urbanas - Directrices para un sistema centralizado de reúso de agua - Parte 1: Principios de diseño de un sistema centralizado de reúso de agua. 3, 1–9.

INN. (2020b). NCh3482: Directrices para la evaluación y gestión de riesgos para la salud en el reúso de aguas servidas tratadas.

INN. (2021a). NCh3456/1: Directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de

- riego - Parte 1: Base de un proyecto de reúso para riego.
- INN. (2021b). NCh3456/2: Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego - Parte 2: Desarrollo del proyecto.
- INN. (2021c). NCh3456/3: Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego - Parte 3: Componentes de un proyecto de reúso para riego.
- INN. (2021e). NCh3674: Reúso de agua- Vocabulario.
- INN. (2021h). NCh3452: Reúso de aguas residuales tratadas para riego - Directrices para la adaptación de sistemas y prácticas de riego a aguas residuales tratadas.
- Interáguas. (2017). *Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil.*
- Jaque, S. (2022). Reforma al Código de Aguas chileno: nuevas reglas sobre propiedad y ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas. *Actualidad jurídica Uría Menéndez*, (58), 192-199.
- Jaramillo, M. F. (2014). Potencial de reúso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación en el valle geográfico del río Cauca María. *Esucela de recursos naturales y del medio ambiente.*
- Jones, E. R., Van Vliet, M. T., Qadir, M., y Bierkens, M. F. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System*
- Juneja, R.; Tal, A.; Huang, J.; Zhou, Y. y Gulati, A. (2021). *From Food Scarcity to Surplus, Innovations in Indian, Chinese and Israeli Agriculture. Springer International Publishing.* Suiza. 430p.

Kassa, M., y Andualem, T. G. (2020). Review of irrigation practice in Ethiopia, lessons from Israel. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 9 (1), 1–6.

La Tercera. (2021). Las caras de la sequía: el drama de la escasez hídrica en las comunas de Valparaíso. <https://www.latercera.com/la-tercera-sabado/noticia/las-caras-de-la-sequia-el-drama-de-la-escasez-hidrica-en-las-comunas-de-valparaiso/EZRYKRWQI5DYHMPYX3UAMWVFO4/>

Lara Bulnes, S. (2020). Valor de los sistemas de captación de agua lluvia en viviendas urbanas como dispositivo para adaptación para el cambio climático en contexto de sequía: caso de Casablanca, Quinta Región.

Ley N°21.075 Diario Oficial de la República de Chile el 15 de febrero del 2018. Ley N°21.435 Diario Oficial de la República de Chile el 6 de abril de 2022.

Libertad y Desarrollo.(2019).Una mirada integral al sector sanitario. ISSN 0717-1528 N°1410 - 2. Mundial, B. (2021). El agua en Chile: elemento de desarrollo y resiliencia.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2017). Plan Nacional Climático 2017-2022 Méndez, D. (2019). Reutilización: Sostenibilidad del ciclo integral del agua.

Molle, F.; Sanchis-Ibor, C. y Avellà-Reus, L. (2019). Irrigation in the Mediterranean, Technologies, Institutions and Policies. *Springer International Publishing*. Suiza. 323p

Norma Chilena Oficial NCh 1333 Of 78 modificada en 1987. [https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978\\_Mod-1987.pdf](https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf)

Ortega, M. (2021). Cómo las modificaciones al código de aguas pueden afectar la propiedad de las aguas servidas tratadas. Seminario AIDIS 2021: Mirada y análisis de la propiedad.

Osorio, R. (2016). ESVAL en la perspectiva del uso de las aguas servidas.  
<https://www.aidis.cl/wp-content/uploads/2016/10/REV-AIDIS-DIC-2016.pdf>

Páucar Aedo, F. G. y Real Ferrer, G. (2022). Reutilización de aguas en España y el Perú: avances y desafíos. *Sostenibilidad: económica, social y ambiental*, 4, 75-100.  
<https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2022.4.05>

Peralta Anabalón, D. (2021). El régimen de las aguas servidas tratadas en Chile.

Proyecto de ley, iniciado en Moción de los Honorables Senadores señoras Allende y Provoste, y señores Bianchi, Castro Prieto y Latorre, con la que regula y fomenta los sistemas de tratamiento y de reutilización de aguas residuales. Boletín N° 15.690-33

Quinteros-Flores, C., y Jorquera-Apablaza, M. (2019). Proyecto carretera hídrica en Chile: ¿La descentralización por la caleterera? *water road project in chile: decentralization by the caleterera?*. *lat. am. j. int. aff.*—vol, 9(3).  
<https://www.lajia.net/lajia/citationstylelanguage/get/acm-sig-proceedings?submissionId=79>

Ramalho, R. (1990). Tratamiento de Aguas Residuales. Reúso de las Aguas Residuales en Chile. *Science Data*, 13 (2), 237–254. doi: 10.5194/essd-13-237-2021

Santos, A. y Lima, M. de A. (2022). Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. *Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2(3), 15–27.

Shoushtarian, F. y Negahban-Azar, M. (2020). *Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review*. Springer International Publishing. Estados

Unidos de America. 58

SISS. (2015). Ord N° 1041. Informe de reúso de aguas servidas tratadas.

SISS. (2021). Solicitud de información de volúmenes, calidad y tratamiento de aguas servidas.

*Ley de transparencia de información*

SUNASS (2022). Diagnóstico de las Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras.

UNESCO. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás

V Región de Valparaíso. Geografía e historia. [http://www.vregion.cl/geografia.php\\_](http://www.vregion.cl/geografia.php_)

Vergara Blanco, A. (2020). Aguas servidas tratadas contenidas en instalaciones sanitarias: Su naturaleza jurídica. *Revista Derecho Administrativo Económico* (32), 85–118. doi:.7764/redae.32.4

Yaben, M. (2023). Israel, el paradigma de la reutilización de agua que ha acabado con la escasez.