



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL REÚSO DE AGUAS SERVIDAS  
TRATADAS CON APLICACIÓN EN RIEGO EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

**KAREN ESTEFANÍA ARANCIBIA PÉREZ**

PROFESOR GUÍA:  
GERARDO MIGUEL AHUMADA THEODULOZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ANA LUCÍA PRIETO SANTA  
JUAN CARLOS SANHUEZA NAVARRETE

SANTIAGO DE CHILE  
2022

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE: INGENIERA CIVIL  
POR: KAREN ESTEFANÍA ARANCIBIA PÉREZ  
FECHA: 2022  
PROF. GUÍA: GERARDO AHUMADA THEODULOZ**

## **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL REÚSO DE AGUAS SERVIDAS TRATADAS CON APLICACIÓN EN RIEGO EN CHILE**

Chile presenta un importante escenario de escasez de hídrica, el cual afecta directamente a la población y a diferentes sectores económicos, especialmente en el centro y el norte del país, lo que ha impulsado la búsqueda e implementación de nuevas medidas y tecnologías. Un ejemplo es el reúso de aguas servidas tratadas en actividades que demandan grandes cantidades de agua como el riego agrícola, sector que cuenta con la mayor demanda hídrica a nivel nacional y mundial. Actualmente, existe un proceso de elaboración y promulgación de nuevas normativas respecto al reúso de aguas servidas en riego, las cuales buscan regularizar el uso de estas aguas. Sin embargo, aún falta claridad respecto a la propiedad de las aguas para su posterior uso.

El objetivo de esta investigación es analizar la factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas en riego en el país, específicamente en cantidad, calidad, legalidad de uso, tratamiento y costos asociados. Para cumplir con este objetivo se realiza la caracterización de las zonas con mayor potencial de reúso en el país; un análisis de la situación internacional con el fin de estudiar sus logros y normativas aplicadas; un análisis de la situación nacional mediante las experiencias de reúso, normativa vigente y en tramitación, la propiedad de las aguas servidas tratadas; y, finalmente, se reúnen los antecedentes necesarios para analizar los costos de un proyecto de intercambio de aguas, es decir, aguas limpias por aguas servidas tratadas para utilizarse en riego.

Los resultados de esta investigación muestran que las zonas con mayor potencial abarcan desde la región del Bío Bío-Ñuble hasta el norte del país. También, existen antecedentes de reúso en el país, sin embargo, aún queda un gran campo por desarrollar, especialmente en el área legal, ya que mientras no exista un dictamen legal no existirá certeza de la propiedad de las aguas servidas. Las tecnologías existentes cumplen los requerimientos técnicos para el reúso de aguas y las normativas asociadas entregan directrices confiables para implementar proyectos. En el estudio de prefactibilidad, se evaluaron tres casos de conducción con un costo promedio de 9.4 millones de UF para todos los casos, los cuales cumplen con los requisitos técnicos asociados al reúso de aguas. Finalmente, estos resultados permiten establecer un antecedente para el reúso de aguas servidas tratadas en riego en Chile.

*“De las dificultades nace el milagro...”*

# Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia que han sido el pilar fundamental de mi vida, que me ha apoyado en cada decisión y acción que he realizado, especialmente a mis padres que siempre han confiado en mi y me han aconsejado para ser mejor cada día, a mis hermanos Richard y Pamela que han estado constantemente dándome ánimo, en particular para terminar la memoria. A mi abuelita Fina que en cada visita al sur me recordaba con cariño el valor de estudiar y salir adelante, a mi tía Tana con su constante confianza en todos sus sobrinos y también mis tíos del sur. A mi Robert que siempre que volvía a casa me esperaba alegremente y que cuando estaba triste se quedaba a mi lado.

A todos los amigos y compañeros que conocí en la universidad con los cuales logré superar y disfrutar cada momento, con los cuales estudiamos en las salita kinder, biblioteca y en civil, almorzábamos en la cafeta, descansamos en biblioteca o escribíamos la memoria, de cada uno aprendí mucho. Agradecer en especial al gran grupo que formamos, que a pesar de nuestras diferencias siempre nos hemos apoyado.

A mi Vicente que me apoyó y cuidó en los momentos más difíciles con todo su amor y paciencia, que cuando no creía en mi él estaba ahí y lo creía por mi.

A mi gran amigo Diego, que ha estado desde el primer año de la universidad y ha sido el mejor amigo que he podido tener, con millones de risas, consejos y enojos, los cuales siempre han servido para crecer como personas.

Al profe Gerardo por las infinitas oportunidades que me dio, por aceptarme en cada ir y venir, por las palabras de animo en cada reunión y por darme las herramientas para terminar esta memoria.

Finalmente, quiero agradecer por cada sonrisa y llanto que viví en la universidad que me hizo crecer como persona, aprender sobre la vida y valorar más lo que me rodea.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.3. Organización del informe . . . . .	3
<b>2. Revisión de la literatura</b>	<b>4</b>
2.1. Situación hídrica mundial y nacional . . . . .	4
2.2. Aguas servidas . . . . .	8
2.2.1. Aguas servidas tratadas . . . . .	9
2.2.2. Reúso de aguas servidas tratadas . . . . .	11
2.2.2.1. Reúso agrícola (riego) con aguas servidas tratadas . . . . .	12
2.3. Normativas referentes al reúso de aguas servidas . . . . .	16
2.3.1. Internacional . . . . .	16
2.3.2. Nacional . . . . .	17
<b>3. Definición de las zonas potenciales de reúso de aguas servidas tratadas</b>	<b>20</b>
3.1. Balance de oferta y demanda de aguas por región . . . . .	20
3.1.1. Variación en los caudales y demanda de agua por actividad . . . . .	22
3.2. Plantas de tratamiento de aguas servidas . . . . .	23
3.2.1. Emisarios submarinos y PTAS costeras . . . . .	24
3.3. Aporte de las aguas servidas tratadas en zonas potenciales . . . . .	25
3.3.1. Reúso de aguas servidas tratadas en riego . . . . .	25
<b>4. Experiencias de reúso de aguas servidas tratadas</b>	<b>28</b>
4.1. Experiencia Internacional . . . . .	28
4.1.1. Estados Unidos . . . . .	30
4.1.2. Australia . . . . .	31
4.1.3. Israel . . . . .	31
4.1.4. España . . . . .	32
4.1.5. China . . . . .	33
4.1.6. Japón . . . . .	34
4.1.7. América Latina y el Caribe . . . . .	35
4.2. Experiencia Nacional . . . . .	37
4.2.1. Región de Tarapacá . . . . .	38
4.2.2. Región de Antofagasta . . . . .	38
4.2.3. Región de Atacama . . . . .	39
4.2.4. Región de Coquimbo . . . . .	39
4.2.5. Región de Valparaíso . . . . .	40

4.2.6. Región Metropolitana . . . . .	42
<b>5. Factibilidad Legal</b>	<b>44</b>
5.1. Gestión de aguas en Chile . . . . .	44
5.2. Empresas de servicios sanitarios . . . . .	45
5.3. Propiedad de las aguas servidas tratadas . . . . .	46
5.3.1. Posición de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) . . . . .	49
5.3.1.1. Clientes de las empresas sanitarias . . . . .	51
5.3.2. Posición de las Empresas de Servicios Sanitarios, Concesiones . . . . .	51
5.3.3. Posición de los Canalistas/Regantes - Usuarios del agua . . . . .	53
5.4. Procedimiento para el reúso de aguas servidas tratadas . . . . .	54
<b>6. Tratamiento Requerido</b>	<b>56</b>
6.1. Caracterización de las aguas servidas . . . . .	56
6.2. Tratamiento de las aguas servidas . . . . .	57
6.3. Calidad y normativa referentes a las aguas servidas . . . . .	59
6.3.1. Normativas de emisión y calidad . . . . .	59
6.3.1.1. Decreto Supremo 90 . . . . .	59
6.3.1.2. Decreto Supremo 46 . . . . .	61
6.3.1.3. Decreto supremo 38 . . . . .	61
6.3.2. Normativas para el reúso de aguas servidas en riego . . . . .	62
6.3.2.1. NCh 1333 . . . . .	63
6.3.2.2. Nueva normativa de reúso de aguas servidas en riego . . . . .	64
<b>7. Caso de estudio: Proyecto de reúso en la región de Valparaíso</b>	<b>84</b>
7.1. Situación actual en la región . . . . .	84
7.2. Problemática en estudio . . . . .	90
7.3. Propuesta de intercambio de aguas servidas . . . . .	92
7.3.1. Metodología . . . . .	92
7.3.2. Caso de estudio . . . . .	96
7.3.2.1. Caudal de diseño . . . . .	96
7.3.2.2. Conducción . . . . .	96
7.3.2.3. PEAS . . . . .	98
7.3.2.4. Estanques . . . . .	103
7.3.2.5. Tratamiento . . . . .	104
7.3.2.6. Costos . . . . .	104
<b>8. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>106</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>110</b>
<b>Anexos</b>	<b>117</b>
<b>A. Tipos de normas jurídicas</b>	<b>118</b>
<b>B. PTAS costeras y Emisarios submarinos</b>	<b>120</b>
<b>C. Parámetros de calidad del agua</b>	<b>122</b>

D. Datos de Valparaíso	135
E. Análisis de costo de agricultores	140

# Índice de Tablas

2.1.	Definición de la seguridad del agua, la escasez, la sequía y los conceptos relacionados. Fuente: Baeza, 2018. . . . .	4
2.2.	Aporte adicional de alternativas para generar fuentes de agua. Fuente: Acosta, 2019	8
2.3.	Niveles de tratamiento de aguas servidas. Fuente: Metcalf y Eddy, 2007. . . .	9
2.4.	Volumen de aguas servidas tratadas por región y disposición del año 2020. Fuente: SISS, 2021. . . . .	10
2.5.	Categorías de reúso de agua y sus aplicaciones más comunes (Adaptado de Metcalf y Eddy, 2007 y EPA, 2012). . . . .	12
2.6.	Eficiencias de aplicación de agua con distintos métodos de riego (Adaptado de CNR, 2017). . . . .	14
3.1.	Oferta y demanda de agua por región en base a balance hídrico, periodo actual 1985-2015 y proyectado 2030. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2020. . . . .	20
3.2.	Demanda estimada de agua por sector económico (DGA, 2017). . . . .	23
3.3.	Caudal efluente de emisarios submarinos y PTAS costeras del año 2020 (DGA, 2017). . . . .	25
3.4.	Superficie total regada por región en 2006-2007, según sistema de riego (ha) (INE, 2007). . . . .	26
3.5.	Hectáreas regadas con aguas servidas tratadas de emisarios submarinos (ES) y PTAS costeras (PATSc). . . . .	27
4.1.	Reporte de reutilización de aguas servidas en Estados Unidos (Sheikh, 2018). .	30
4.2.	Casos observados de reúso de aguas servidas tratadas. Fuente: Adaptado de Zamorano, 2021 y Datos SISS, 2020. . . . .	38
4.3.	Agua reutilizada. Fuente: Aguas Andinas, 2020. . . . .	43
6.1.	Caracterización de las aguas servidas (Metcalf y Eddy, 2004). . . . .	56
6.2.	Incrementos típicos de la concentración de minerales debido a los usos domésticos del agua (Metcalf y Eddy, 2004). . . . .	57
6.3.	Características de los principales niveles de tratamiento (Silva et al. 2008). . .	58
6.4.	Resumen de los riesgos para la salud asociados con el uso de aguas residuales para el riego (FAO, 2013). . . . .	63
6.5.	Ejemplos de Cultivos Regados con Aguas Residuales Tratadas. Fuente: FAO, 2013	63
6.6.	Conjunto normativo de reúso de aguas servidas tratadas para proyectos de riego. . .	65
6.7.	Definición de la calidad de ART y recomendaciones de tratamiento para microaspersión o riego por goteo (NCh 3452). . . . .	77
6.8.	Calidad sugerida de aguas residuales tratadas de acuerdo con parámetros químicos, físicos y biológicos (NCh 3456/2). . . . .	78
6.9.	Tipos sugeridos y número acreditado de barreras. Fuente: NCh 3456/2. . . . .	80

6.10.	Comparación de normas de emisión y calidad, que pueden delimitar la calidad de las aguas servidas tratadas. . . . .	83
6.11.	Comparación de la nueva normativa de reúso, que pueden delimitar la calidad de las aguas servidas tratadas debido a diferentes cultivos y/o tipos de riego. . . . .	83
7.1.	Superficie y porcentaje de uso de suelo de la región de la Valparaíso (INE, 2007).	85
7.2.	Decretos de escasez en la región de Valparaíso (DGA, 2022). . . . .	87
7.3.	Caudal de emisarios submarinos y PTAS costeras de la región de Valparaíso. . . . .	90
7.4.	Caudal de diseño de aguas servidas para los emisarios Loma Larga y Dos Norte.	96
7.5.	Datos del diseño de la conducción para el caso 1. . . . .	99
7.6.	Datos del diseño de la conducción para el caso 2. . . . .	100
7.7.	Datos del diseño de la conducción para el caso 3. . . . .	101
7.8.	Datos del diseño de la conducción de Dos Norte. . . . .	102
7.9.	Diámetros y longitud de proyecto. . . . .	102
7.10.	Diseño de bombas y potencias para PEAS. . . . .	103
7.11.	Capacidad de los estanques de succión (EST), carga (EC) y almacenamiento (EA).	104
7.12.	Datos de dimensionamiento para PTAS de Lodos Activados. . . . .	104
7.13.	Costo total del proyecto según cada caso (porcentaje de costos indirectos asociados a obras especiales de la empresa ESVAL S.A., dado el tamaño del proyecto).	105
B.1.	PTAS costeras y emisarios submarinos seleccionados. . . . .	120
C.1.	Listado de parámetros asociados a la medición de calidad de aguas servidas . . . . .	122
C.2.	Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales sin y con capacidad de dilución del receptor. Fuente: DS 90/2000.	123
C.3.	Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustre. Fuente: DS 90/2000. . . . .	124
C.4.	Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro y fuera a la zona de protección del litoral. Fuente: DS 90/2000. . . . .	125
C.5.	Límites Máximos Permitidos para Descargar Residuos Líquidos en Condiciones de Vulnerabilidad Media. Fuente: DS46/2002. . . . .	126
C.6.	Límites Máximos Permitidos para Descargar Residuos Líquidos en Condiciones de Vulnerabilidad Baja. Fuente: DS46/2002. . . . .	127
C.7.	Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable. Fuente: FAO, 1987.	128
C.8.	Tolerancia relativa al boro de algunos cultivos. Fuente: FAO, 1987. . . . .	129
C.9.	Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego. Fuente: NCh 1333. . . . .	130
C.10.	Clasificación de agua para riego según salinidad. Fuente: NCh 1333. . . . .	131
C.11.	Ejemplo de niveles máximos de factores de salinidad en ART utilizadas para riego de acuerdo con la sensibilidad del cultivo. Fuente: NCh 3456/1 . . . . .	131
C.12.	Clasificaciones de climas utilizando el índice de aridez (IA). Fuente: NCh 3456/1.	132
C.13.	Problemas asociados con el almacenamiento de aguas residuales en reservorios abiertos y estrategias de manejo. Fuente: NCh 3456/3. . . . .	133
C.14.	Problemas asociados con el almacenamiento de aguas residuales en reservorios cerrados y estrategias de manejo. Fuente: NCh 3456/3. . . . .	134
D.1.	Uso de suelo, provincia de Los Andes. . . . .	135
D.2.	Uso de suelo, provincia de Marga Marga. . . . .	135
D.3.	Uso de suelo, provincia de Petorca. . . . .	136
D.4.	Uso de suelo, provincia de Quillota. . . . .	136

D.5.	Uso de suelo, provincia de San Antonio. . . . .	136
D.6.	Uso de suelo. provincia de San Felipe. . . . .	137
D.7.	Uso de suelo, provincia de Valparaíso. . . . .	137
D.8.	Datos de dimensionamiento para PTAS de Lodos Activados da cada emisorio submarino. . . . .	138
D.9.	Carga y costo de inversión de PTAS de Lodos activados de distintas ciudades del país, según estudios tarifarias, para extrapolación de costos. . . . .	139
E.1.	Costo cultivos por hectárea de la región de Valparaíso. . . . .	140

# Índice de Ilustraciones

2.1.	Grado de vulnerabilidad al estrés hídrico a nivel mundial (Institute for Economics & Peace Institute, 2020).	5
2.2.	Precipitación acumulada años 2020, 2019, 2018 y promedio histórico (DGA, 2019c, 2020).	7
2.3.	Nivel de tratamiento de aguas servidas según aplicación de reúso (EPA, 2012).	11
2.4.	Ciclo típico de un embalse de estabilización (Libhaber y Orozco-Jaramillo, 2015).	15
2.5.	Reúso de aguas servidas utilizando embalse de estabilización que combina almacenamiento y tratamiento (Libhaber y Orozco-Jaramillo, 2015).	15
2.6.	Distribución de normativa en sistemas de tratamiento (SISS, 2019).	19
3.1.	Oferta, demanda, balance y presión hídrica regional, en situación actual y futura.	21
3.2.	Variación de caudales diciembre 2020 (DGA, 2019c).	22
3.3.	Cantidad de sistemas de tratamiento (SISS, 2019).	24
3.4.	Situación de riego esperada para los años 2014-2015 (DGA, 2014).	26
4.1.	Cobertura de tratamiento internacional (OCDE, 2017).	28
4.2.	(a) Producción de aguas servidas (b) Recolección (c) Tratamiento (d) Reutilización, en m <sup>3</sup> /año per cápita a escala de país (Jones et al., 2021).	29
4.3.	Sistemas de reutilización de aguas municipales, por campo de aplicación (FAO, 2013).	29
4.4.	Reutilización de agua por tipo de aplicación en los estados de (a) California, (b) Florida y (c) Tucson, Arizona (Sheikh et al., 2018; EPA, 2012).	31
4.5.	Fuentes de agua para la agricultura en Israel (Kiperwas, 2021).	32
4.6.	Reutilización de aguas servidas tratadas al año 2012 con horizontes para 2015, 2021 y 2033 (Mendez, 2019).	33
4.7.	Reutilización de aguas servidas en ciudades de China; (a) cantidades de descarga de aguas residuales domésticas e industriales frente a aguas residuales costo operativo de las plantas de tratamiento (WTP); (b) número de ciudades con diferente nivel de reutilización (Lyu et al., 2016).	34
4.8.	Aplicaciones de la reutilización del agua en Japón (Takeuchi y Tanaka, 2020).	35
4.9.	Acceso a servicios de saneamiento en países seleccionados de la región de América Latina y el Caribe en el año 2017 (Rodríguez, 2020).	35
6.1.	Consideraciones al escoger la calidad de las aguas a utilizar.	81
6.2.	Conceptualización de sistemas de proyectos de reúso (Adaptado de NCh 3462/1).	82
7.1.	Red de canales de la región de Valparaíso.	84
7.2.	Uso de suelo de la región de Valparaíso.	85
7.3.	Plantaciones por provincias de la región de Valparaíso (INE, 2007).	86
7.4.	Tipos de cultivos de la región de Valparaíso (INE, 2007).	86
7.5.	Tecnologías de riego en la región de Valparaíso (INE, 2007).	87

7.6.	Variación del volumen del Embalse Peñuelas, en el periodo febrero 2021 - febrero 2022 (DGA,2022). . . . .	88
7.7.	Variación del volumen del Embalse Los Aromos, en el periodo febrero 2021 - febrero 2022 (DGA,2022). . . . .	88
7.8.	Ubicación de emisarios submarinos, PTAS costeras y capacidad máxima de embalses de la región. . . . .	90
7.9.	Secciones del río Aconcagua y ubicación del embalse Los Aromos. . . . .	91
7.10.	Ajustes de costos asociados a la potencia de las bombas. . . . .	95
7.11.	Ajustes de costos de inversión para PTAS de lodos activados. . . . .	95
7.12.	Trazado de conducción de aguas servidas rodeando Valparaíso. . . . .	97
7.13.	Trazado de conducción de aguas servidas por camino Valparaíso. . . . .	98
7.14.	Perfil piezométrico del caso 1. . . . .	99
7.15.	Perfil piezometrico del caso 2. . . . .	100
7.16.	Perfil piezometrico del caso 3. . . . .	101
7.17.	Perfil piezométrico de la conducción desde el emisario Dos Norte. . . . .	102
D.1.	Decretos de escasez vigentes a lo largo del país (DGA, 2022). . . . .	138

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

Chile es un país que cuenta con una gran variedad de recursos naturales debido a su extensa geografía y a sus diferencias climáticas. Se extiende desde el desierto de Atacama hasta la Antártica, lo que refleja sus grandes contrastes, especialmente en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico. El sur corresponde a la zona con mayores reservas de agua, mientras que desde la zona norte hasta el centro-sur del país la escasez hídrica es un problema que se ha acrecentado en los últimos años, afectando directamente a muchas de las actividades económicas claves como la agricultura, considerada entre las principales fuentes de la economía nacional (ODEPA, 2018), o la minería, que abastece sus requerimientos con agua dulce y agua desalada (SONAMI, 2018). En este contexto, estudiar el problema de escasez hídrica resulta fundamental para comprender la situación actual del país 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. Entre las opciones existentes se encuentra el aumento de la eficiencia en el uso de aguas, las tecnologías de desalinización y de 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 (AIDIS, 2016). Cabe destacar que el reúso de aguas de forma indirecta siempre ha estado presente en la sociedad, desde el vertimiento no regulado de las aguas servidas a una fuente superficial o subterránea y su posterior uso en diversas actividades como riego, procesos industriales, uso en estanques de baño, entre otras (EPA, 2012).

En Chile, la cobertura de alcantarillado en territorios concesionados por empresas sanitarias se encuentra en un 97,2 %, y de este porcentaje, un 99,98 % recibe tratamiento de aguas servidas (SISS, 2019). Estas aguas, posterior a su tratamiento y cumplimiento de la normativa de emisión (Decreto Supremo N°90/2000), son descargadas a los diferentes cuerpos de aguas entrando nuevamente al ciclo del agua. En el país existen 300 sistemas de tratamiento de aguas servidas operativos, dentro de las tecnologías más utilizadas se encuentran los Lodos Activados con un 63 % del total, seguido por las Lagunas Aireadas con un 18 % y los emisarios submarinos abarcando un 11 % del total (SISS, 2019).

En el país se reutiliza la mayor parte de las aguas servidas, ya sea de forma directa o indirecta.

ta, por lo cual la ampliación directa del caudal del recurso hídrico recae principalmente en los emisarios submarinos y en las aguas servidas tratadas provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) costeras, cuya descarga se termina en el mar. Por lo cual, la potencial reutilización se concentra en las zonas de mayor escasez hídrica ubicadas desde la región del Maule hacia el norte.

En la actualidad, para regular el reúso de aguas servidas a nivel nacional, se está realizando y promulgando un nuevo conjunto normativo específico para proyectos de riego, el cual busca entregar directrices para un uso eficiente de las aguas servidas tratadas y complementar la normativa existente.

Si bien existen las capacidades tecnológicas para ampliar el reúso de aguas servidas tratadas, el problema recae en la gestión y en lo económico, ya que es necesario mejorar la coordinación entre los actores involucrados (ECONSSA S.A., 2016). Ante este panorama, la presente investigación busca analizar la situación actual de reúso de aguas servidas tratadas en riego en Chile. Para ello se estudian las zonas potenciales para el reúso de aguas servidas tratadas en riego, las experiencias y normativas internacionales, las experiencias preliminares que se han realizado en el país y la nueva normativa que se está promulgando. Se estudia también la propiedad de las aguas servidas y finalmente se estima el costo de un caso de estudio de intercambio de aguas servidas tratadas en la región de Valparaíso.

## **1.2. Objetivos**

### **General**

Analizar la factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas, para ser aplicado en riego en Chile.

### **Objetivos específicos**

Dentro de los objetivos específicos que aborda este trabajo se encuentran:

1. Evaluar las zonas de mayor potencial para el reúso de aguas servidas tratadas en riego en Chile.
2. Investigar experiencias nacionales e internacionales de reúso de aguas servidas.
3. Analizar la propiedad de las aguas servidas tratadas, con el fin de estudiar la factibilidad legal de su uso.
4. Analizar y comparar la normativa vigente nacional con la nueva normativa en proceso de tramitación y estándares internacionales.
5. Estimar los costos de aguas servidas tratadas en un proyecto de intercambio de aguas servidas tratadas, con el fin de estudiar la factibilidad económica del caso en estudio con canalistas en la región de Valparaíso.

## 1.3. Organización del informe

El presente trabajo consta de ocho capítulos, y está estructurado de la siguiente manera:

- **Capítulo 1 – Introducción:** se presenta la motivación y los objetivos de la investigación.
- **Capítulo 2 – Revisión de la literatura:** se da cuenta de la problemática hídrica presente en Chile, la situación de las aguas servidas tratadas Chile y las normativas nacionales e internacionales.
- **Capítulo 3 – Definición de las zonas potenciales de reúso de aguas servidas tratadas:** se analiza la disponibilidad y demanda de agua a lo largo del país, y se evalúan las zonas con mayor potencial en el reúso de aguas servidas tratadas.
- **Capítulo 4 – Experiencias de reúso de aguas servidas tratadas:** se estudian los avances y experiencias internacionales y nacionales, en el reúso de aguas servidas tratadas.
- **Capítulo 5 – Factibilidad Legal:** se discute la propiedad de las aguas servidas, analizando las posturas de los entes involucrados.
- **Capítulo 6 – Tratamiento Requerido:** se analiza la normativa actual referente a la calidad y uso de las aguas servidas tratadas, la nueva normativa nacional y estándares internacionales.
- **Capítulo 7 – Caso de estudio: Proyecto de reúso en la región de Valparaíso:** se analizan los costos asociados a un caso de estudio de intercambio de aguas servidas con canalistas de la tercera sección del río Aconcagua en la región de Valparaíso.
- **Capítulo 8 – Conclusiones y recomendaciones**

# Capítulo 2

## Revisión de la literatura

### 2.1. Situación hídrica mundial y nacional

Para comprender la situación hídrica que existe actualmente en el mundo, es necesario diferenciar dos conceptos claves: la sequía y la escasez hídrica. El primero se refiere a fenómenos meteorológicos, relativos a una baja sostenida en las precipitaciones en relación con un promedio histórico o hidrológico, la cual se manifiesta cuando existe una baja sostenida de los caudales en los ríos o una baja en los volúmenes embalsados (Crocco, 2021), y el segundo concepto se relaciona con la gestión y uso del recurso hídrico incluyendo procesos hidrológicos y meteorológicos (CR2, 2020).

Para una mayor comprensión de los conceptos mencionados se presenta una tabla resumen que define términos relacionados.

Tabla 2.1: Definición de la seguridad del agua, la escasez, la sequía y los conceptos relacionados. Fuente: Baeza, 2018.

Conductor		Aplicación típica		
		Corto Plazo (días, semanas)	Mediano Plazo (meses, estaciones, años)	Largo Plazo (décadas)
Fenómeno meteorológico	me-	<b>Período de sequía:</b> Período de tiempo anormalmente seco, más corto y menos grave que una sequía	<b>Sequía (como un peligro):</b> Periodo inusualmente seco de la duración o la intensidad suficiente para tener un impacto adverso significativo sobre los ecosistemas, las economías, o la sociedad.	<b>Aridez y desertificación:</b> Falta permanente y severa de agua disponible, hasta el punto de dificultar o impedir el crecimiento y desarrollo de la vida vegetal y animal (Aridez). Esto puede conducir a la pérdida severa y persistente de la productividad biológica de una región (Desertificación). La desertificación puede ser impulsada por el clima o las influencias humanas, como la deforestación o la agricultura insostenible (más allá de los límites de las fuentes renovables de agua) o por medio de una sequía prolongada o un periodo de aridez.

Conductor	Aplicación típica		
	Corto Plazo (días, semanas)	Mediano Plazo (meses, estaciones, años)	Largo Plazo (décadas)
Desequilibrio entre la oferta y la demanda natural renovable impulsado por la actividad humana	<b>Escasez de agua:</b> Aumento significativo, temporal de la demanda (debido a conductores socioeconómicos), la pérdida de suministro (debido a factores humanos, tales como el colapso de una presa o la contaminación) o factores climáticos (tal como una reducción a corto plazo en la precipitación)	<b>La escasez de agua (y el estrés):</b> Desequilibrio persistente entre la oferta y la demanda disponible que surge cuando la demanda media es mayor que la disponibilidad renovable a largo plazo. La distinción entre el estrés de agua y la escasez de agua refleja el grado de gravedad del desequilibrio. En las zonas con escasez de agua, el desequilibrio es menos grave.	

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 al 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). A continuación se presenta el mapa mundial de estrés hídrico a nivel de país.

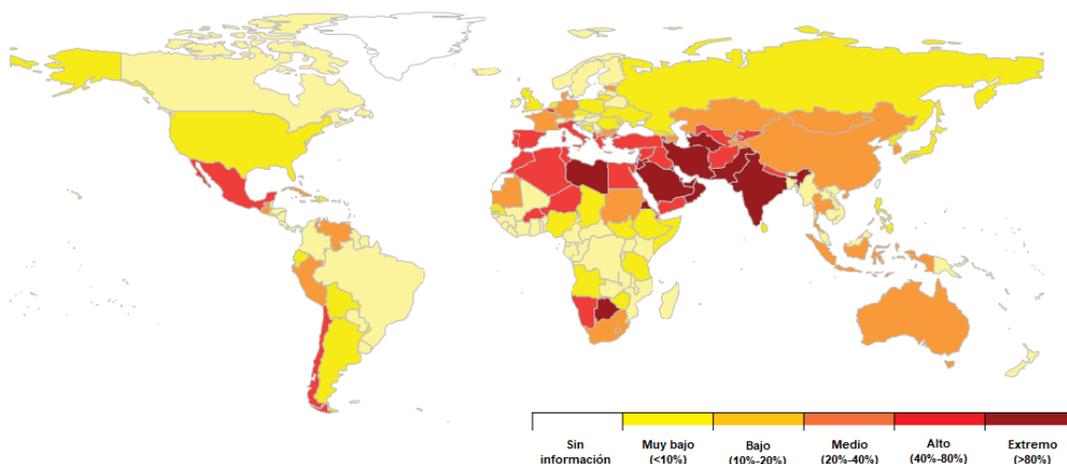


Figura 2.1: Grado de vulnerabilidad al estrés hídrico a nivel mundial (Institute for Economics & Peace Institute, 2020).

Chile se ha destacado por ser un país de gran diversidad de ecosistemas, climas y recursos. Respecto al recurso hídrico, el promedio de escorrentía 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. La investigación realizada por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia el año

2015 denominó como megasequía al déficit hídrico que afecta a gran parte de la zona central. Además, según el estudio, desde el año 2010 las regiones de Coquimbo hasta la Araucanía han experimentado un déficit de precipitaciones cercano al 20 % (CR2, 2015).

Además, según los datos entregados por la Red Global de la Huella Ecológica, Chile entró a un sobregiro ecológico el día 17 de mayo del 2021, utilizando todos los recursos del año. Este indicador que mide el volumen total de agua dulce para producir de forma directa e indirecta de los bienes y servicios consumidos, su valor alcanza los 18.000 millones m<sup>3</sup>/año y per cápita un valor de 3.200 l/s (Global Footprint Network, 2021).

Por otro lado, el pronóstico en Chile con respecto al cambio climático no es alentador, ya que las proyecciones realizadas para el período 2030-2060, en la actualización del balance hídrico nacional (utilizando diferentes modelos climáticos), muestran disminuciones 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 (Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2017).

En relación a la demanda de aguas en Chile 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).

Según la Dirección General de Aguas (DGA), en el mes de marzo del 2022 existen 24 decretos de escasez vigentes, abarcando a 188 comunas a lo largo del país (ver Anexo D.1), es decir, el 54,3 % de las comunas de todo Chile, lo cual hace impostergable la búsqueda de nuevas alternativas de manejo del agua, tanto en las zonas afectadas como en el resto del país.

Por otra parte, en relación a los datos pluviométricos entregados por la DGA a diciembre del 2020, se puede ver una disminución importante con respecto al promedio histórico comprendido desde 1981-2010, como se presenta en la siguiente gráfica de precipitación acumulada anual. Las regiones entre Arica y Parinacota y el Maule son las más afectadas, mientras que las regiones del Ñuble y BioBío deben comenzar a contemplar planes de atenuación a los problemas de escasez de agua que se pudieran presentar.

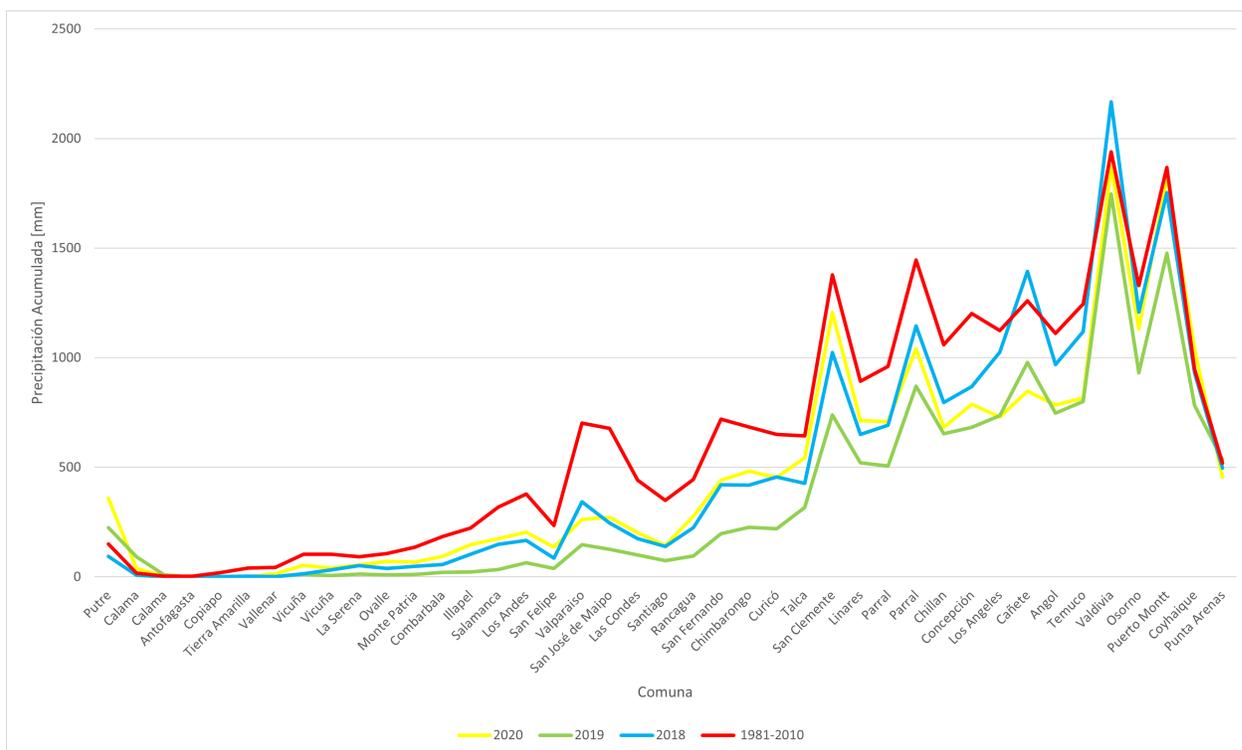


Figura 2.2: Precipitación acumulada años 2020, 2019, 2018 y promedio histórico (DGA, 2019c, 2020).

Dentro del contexto de escasez que está afectado el país, el 2019 se hizo el llamado a crear una mesa Nacional del Agua conformada por grandes entidades nacionales referentes al tema hídrico nacional, con el fin de encontrar soluciones a la crisis hídrica presente en el país. Dentro de los objetivos de esta mesa se encuentra: (i) establecer los contenidos centrales de una política hídrica de largo plazo, (ii) proponer la infraestructura hídrica necesaria y la forma de gestión del agua en las cuencas en el mediano y largo plazo, y (iii) definir los principios básicos del marco legal e institucional para sustentar la política hídrica de largo plazo. Con lo que se identificaron tres desafíos de relevancia nacional en el contexto hídrico: seguridad hídrica, calidad de las aguas y ecosistemas relacionados, y marco legal (MOP, 2020).

Finalmente, la Tabla 2.2 presenta las alternativas que se están evaluando en el país según su aporte adicional a las fuentes de aguas. Dentro de estas alternativas se encuentra el reúso de aguas servidas, alternativa que se evaluará a lo largo de esta investigación desde una perspectiva técnica y legal.

Tabla 2.2: Aporte adicional de alternativas para generar fuentes de agua. Fuente: Acosta, 2019

Alternativa	Caudal adicional (2030) (Idealización optimista en plazo de desarrollo)
Desalación de agua de mar	~10 m <sup>3</sup> /s
Incrementar el reúso del aguas servidas	~9 m <sup>3</sup> /s ~20 m <sup>3</sup> /s
Embalses	~25 m <sup>3</sup> /s
Incrementar la eficiencia de riego	~30 m <sup>3</sup> /s
Trasvase de agua desde nodos de cuencas medias	100 m <sup>3</sup> /s
Trasvase de agua desde nodos de desembocadura	~1000 m <sup>3</sup> /s

## 2.2. Aguas servidas

Las aguas servidas son el efluente proveniente del uso de agua domiciliaria, comercial o industrial, es decir, como resultado del uso del agua por parte de los humanos. Estas aguas se conforman típicamente de un 99,9% de agua y un 0,1% de contaminantes, de los cuales, al rededor 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 (Libhaber y Orozco-Jaramillo, 2015; Vidal y Araya, 2014).

Dentro de la legislación chilena actual, la ley 21.075 del año 2018, que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises, y la norma NCh 3674/2021 “Reúso de agua - Vocabulario”, hacen algunas de las distinciones de aguas servidas que se presentan a continuación:

- **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. Procedente de cualquier combinación de actividades domésticas, industriales, comerciales o institucionales, de escorrentías superficiales y de cualquier agua de entrada o de filtración de alcantarillado y que puede incluir aguas pluviales recogidas.
- **Aguas servidas:** agua resultante de cualquier combinación de actividades domésticas, comerciales, escorrentías superficiales y cualquier entrada accidental de agua de alcantarillado/infiltración.
- **Aguas servidas domésticas:** aguas residuales que contienen los desechos de una edificación, compuestas por aguas grises y aguas negras.
- **Aguas servidas industriales:** aguas residuales resultantes de cualquier actividad industrial o comercial.

- **Aguas grises:** aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinajas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.
- **Aguas negras:** aguas residuales que contienen excretas.
- **Aguas tratadas:** aquellas que se han sometido a los procesos de tratamiento requeridos para cumplir con la calidad específica para el uso beneficioso previsto.

### 2.2.1. Aguas servidas tratadas

Los niveles de tratamiento que deben tener las aguas servidas dependerá de la normativa de cada país, disposición o reúso. En la Tabla 2.3 se presenta una descripción de los tratamientos universales destacando su finalidad en la calidad de las aguas servidas tratadas producidas. 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.

Tabla 2.3: Niveles de tratamiento de aguas servidas. Fuente: Metcalf y Eddy, 2007.

Nivel de tratamiento	Descripción
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.
Primaria avanzada	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 micropantallas. 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.

Chile tiene una cobertura de alcantarillado urbano por sobre el 97.2% y respecto a este porcentaje un 99.98% recibe tratamiento a nivel promedio país. Dada la sequía que está viviendo el país se ha observado una disminución de un 6% en la cantidad de aguas servidas

que reciben tratamiento respecto al año 2020 en relación con el año 2019, a pesar de esto continua el patrón de aumento en el tratamiento en relación al año 2012 con un valor cercano al 10 % de aumento (SISS, 2019).

Además, dependiendo de la región, las empresas sanitarias han dispuesto diferentes tipos de tratamiento, los cuales se ajustan a los requerimientos de: calidad de las aguas servidas, cantidad a tratar y el lugar de disposición. En la Tabla 2.4 se muestra el volumen de aguas servidas tratadas por año y su destino final por región, según datos entregados a través de transparencia de información de la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

Tabla 2.4: Volumen de aguas servidas tratadas por región y disposición del año 2020.  
Fuente: SISS, 2021.

Región	Mar	Cuerpo superficial continental	Cuerpo lacustre	Volumen AST reusada	Volumen total	Porcentaje reusado
Arica y Parinacota	12.458.858				12.458.858	0,00 %
Tarapacá	19.355.782			832.902	20.188.684,15	4,13 %
Antofagasta	27.988.695	8.447.227		5.068.157	41.504.081	12,21 %
Atacama	1.042.566	6.221.323		10.935.953	18.199.842	60,09 %
Coquimbo	29.598.782	9.669.719		1.792.987	41.061.490	4,37 %
Valparaíso	89.047.080	29.542.075		1.352.989	119.942.144	1,13 %
Metropolitana		484.563.532		45.640.047	530.203.579	8,61 %
O'Higgins		52.524.380			52.524.380	0,00 %
Maule		85.927.435			85.927.435	0,00 %
Ñuble		25.850.697			25.850.697	0,00 %
Biobío	38.439.652	63.305.005	261.286		102.005.943	0,00 %
La Araucanía		64.587.720	2.517.702		67.105.422	0,00 %
Los Ríos		21.531.310	312.397		21.843.707	0,00 %
Los Lagos	29.661.792	27.887.643			57.549.436	0,00 %
Aysén	225.987	5.423.312	277.189		5.926.488	0,00 %
Magallanes	14.991.089				14.991.089	0,00 %
<b>Total</b>	<b>262.810.284</b>	<b>855.481.379</b>	<b>3.368.574</b>	<b>65.623.035</b>	<b>1.187.283.275</b>	<b>5,53 %</b>

Como se mencionó, las tecnologías de tratamiento varían según diversos factores, dentro de las tecnologías más utilizadas en Chile se encuentra en primer lugar el tratamiento convencional de los lodos activados con un 63 %, seguido por las lagunas aireadas con un 20 %, luego por los emisarios submarinos con un 11 % del total (utilizados en mayor medida en la zona norte del país y donde se encuentra el mayor potencial de reúso de aguas servidas), un 4 % primario + desinfección, 1 % en lombrifiltros y 1 % en otras tecnologías como lagunas facultativas, lagunas de estabilización, físico químico y CBR (SISS, 2019).

En relación a la disposición de aguas servidas, se debe regir por la normativa de cada país, las cuales deben cumplir con requisitos mínimos de calidad para su posterior disposición. Por ejemplo, el vertimiento de aguas servidas al mar tiene solamente pretratamiento y restricciones de descarga en el mar, dado que en el mar se consigue la dilución necesaria para no generar problemas ambientales (Fundación Chile, 2016). La disposición de las aguas servidas en el país se realiza en diferentes cuerpos de agua o es reutilizada para actividades como el riego, según la información entregada por la SISS (Tabla 2.5) el 72,8 % es dispuesta a cuerpos superficiales continentales, el 21,5 % al mar, el 0,3 % a cuerpos lacustres y el 5,4 % es reutilizada.

A nivel mundial, existe un aumento de plantas de tratamientos de aguas servidas (PTAS) con diferentes grados de tratamiento para aplicaciones de riego agrícola, uso urbano, recreativo

e industrial. Estados Unidos y algunos países de Asia lideran la lista de mayores plantas de tratamientos, seguido por Australia y la Unión Europea, quedando al final Medio Oriente, América Latina y África (FAO, 2013).

### 2.2.2. Reúso de aguas servidas tratadas

Para el potencial reúso de las aguas servidas es necesario considerar un tratamiento apropiado según el objetivo, es por ello que es necesario una correcta gestión en el manejo y uso, considerando factores de protección del medio ambiente y prevención de riesgos en la salud para el uso seguro de las aguas que serán reutilizadas (AIDIS, 2016). En la Figura 2.3 se puede apreciar la diferencia en las calidades de agua cruda, potable y servidas, y los tratamientos que permiten mejorar su calidad. Dependiendo del objetivo de la reutilización se puede obtener agua de calidad superior a la del agua potable.



Figura 2.3: Nivel de tratamiento de aguas servidas según aplicación de reúso (EPA, 2012).

Desde un punto de vista técnico existen diferentes tipos de reúso de aguas servidas tratadas, los cuales están asociados a la forma en que obtenemos dichas aguas y finalidad de uso. Según las terminologías entregadas por la EPA el año 2012 encontramos:

- **Reutilización de facto:** reutilización de aguas servidas tratadas sin reconocimiento oficial. Ejemplo: toma de suministro de agua, ubicada aguas abajo del punto de descarga de una planta de tratamiento de aguas servidas.
- **Reutilización directa:** reutilización de aguas servidas tratadas de forma directa de una planta de tratamiento para ser utilizada en una planta de tratamiento de aguas.
- **Reutilización indirecta:** reutilización de aguas servidas tratadas desde una fuente de agua que previamente tuvo descargas, aguas arriba, de una planta de tratamientos de aguas servidas.
- **Reutilización no potable:** todas las aplicaciones de reutilización de agua que no implican la reutilización potable.
- **Reutilización potable:** aumento planificado de un suministro de agua potable con agua recuperada.

Dentro de las razones para la reutilización de agua se encuentran la escasez del suministro del recurso hídrico, la urbanización, uso eficiente de los recursos, factores ambientales y protección de la salud pública. Existe gran variedad de usos para las aguas servidas tratadas, sin embargo, los criterios más importantes para determinar la calidad final de las aguas son con respecto a la salud pública y las necesidades de los agricultores, es decir, se necesitan estándares más altos que los establecidos para su disposición ya que se relacionan directamente con el consumo humano (Sandoval, 2003). Dentro de las categorías de aplicación de aguas servidas, podemos distinguir las aplicaciones más comunes de reúso de aguas servidas en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Categorías de reúso de agua y sus aplicaciones más comunes (Adaptado de Metcalf y Eddy, 2007 y EPA, 2012).

<b>Categoría</b>	<b>Aplicación típica</b>
Reúso urbano	Riego de jardines, parques, patios de escuelas, campos de golf, cementerios, riego residencial
Reúso agrícola	Riego de cultivos o viveros comerciales
Reúso de almacenamiento	Usos recreacionales y ambientales, para contacto corporal restringido o no, como en lagos y estanques, mejora de pantanos, aumento de caudales y nieve artificial
Reciclaje y reúso industrial	Aguas de enfriamiento, alimentación de calderas, aguas de procesos
Reúso no potable - Recargas de aguas subterráneas	Reposición de aguas subterráneas, control de intrusiones salinas
Reúso potables	Mezclada en embalses de abastecimiento de agua y en aguas subterráneas, suministro directo en tuberías

### 2.2.2.1. Reúso agrícola (riego) con aguas servidas tratadas

Con respecto al consumo promedio mundial, se estima que un 70 % del agua total extraída es utilizada para agricultura (principalmente riego), seguido por las industrias con un 20 %, y un 10 % de uso doméstico (Kumar y Goyal, 2020). En Chile, el sector económico agropecuario es de principal consumo de aguas consuntivas con 252,46 m<sup>3</sup>/s (DGA, 2017). Además, el sector silvoagropecuario se ha impulsado principalmente por las exportaciones, donde su crecimiento ha llevado a un importante desarrollo económico en el país. Si bien su importancia es innegable, la baja disponibilidad de agua para riego y consumo animal, y la falta integral del recurso hídrico ha dificultado el desarrollo de esta actividad, la cual, sumado a los problemas con los derechos de aguas, ha creado un mercado basado en la especulación (ODEPA, 2018), por lo que la reutilización de aguas servidas genera una alternativa en la disponibilidad del recurso hídrico.

En este contexto, las actividades que involucran el riego buscan hacer un uso eficiente del agua sobre la superficie de cultivos. A nivel mundial las superficies regadas aumentan constantemente a un ritmo aproximado de 5 % cada 10 años (FAO, 2013), por lo que la tecnificación del riego ha ayudado al aprovechamiento óptimo del recurso hídrico. Existen diversos métodos de riego, por lo que para elegir el método más adecuado es necesario considerar diversos criterios y antecedentes como: tipo de cultivo, tipo de suelo, topografía, recurso hídrico, clima, entre

otros (López, 2016; CNR, 2014).

Dentro de los sistemas de riego más utilizados tanto a nivel nacional como internacional se encuentran (López, 2016; CNR, 2014):

- **Riego gravitacional o de superficie:** consiste en el riego donde la gravedad es la fuerza motriz, la cual mueve el agua desde el punto más elevado de la pendiente hacia el punto más bajo. Para este método existen pérdidas de aguas tanto por escurrimiento superficial como percolación profunda bajo la zona de las raíces. Se pueden diferenciar dos categorías:
  - **Inundación:** el agua se aplica y distribuye prácticamente en toda la superficie que se quiere regar. Son sistemas de riego de bajo costo.
    - **Tendido:** se deja escurrir el agua desde un canal o asequia construida a lo largo del extremo superior, lo que permite una cobertura completa de la superficie de riego. Además, la distribución del agua tiende a ser desigual, lo que genera sectores con exceso de agua y otros con falta de humedad.
  - **Surco:** el agua es conducida por surcos desde los puntos altos hacia sectores bajos, este método se adapta bien a cultivos tipo hileras. Son sistemas de riego de bajo costo.
- **Riego presurizado:** consiste en el bombeo desde la fuente de agua, lo que genera la presión necesaria para impulsar el agua y obtener un riego controlado. Existen 2 grupos: riego presurizado de baja frecuencia y riego localizado de alta frecuencia, cuyo objetivo es aplicar de forma precisa el agua para riego.
  - **Presurizado de baja frecuencia (RPBF):**
    - **Aspersión:** el agua es aplicada simulando lluvia sobre el suelo, con el fin de que se infiltre en el lugar donde cae.
  - **Localizado de alta frecuencia (RLAF):** consiste en el suministro de agua en la zona radicular de la planta, así los cultivos pueden obtener el agua y los nutrientes necesarios. Además, es necesario operar estos sistemas con mayor frecuencia para mantener el suelo con constante humedad. En este riego se pueden diferenciar las siguientes categorías:
    - **Riego por goteo:** también conocido como RLAF de bajo caudal ( $< 16$  l/s), donde se aplica el agua mediante goteros o pequeños orificios localizados en cada planta.
    - **Microaspersión:** también conocido como RLAF de alto caudal (16 - 150 l/s), donde se suele pulverizar el agua como lluvia fina a nivel de superficie, es decir, se aplica el agua mediante aspersión en áreas pequeñas y localizadas a las plantas.
  - **Riego a chorros:** se aplican chorros de agua en balsillas en el suelo cercanas a cada planta.
  - **Riego subsuperficial:** se aplica el agua en ramales situados debajo la superficie del suelo.

- **Riego subterráneo:** Se pueden identificar dos mecanismos para este riego, mediante la humidificación del suelo a través de humidificadores artificiales instalados en el suelo o mediante el control de los niveles freáticos del terreno para el mantenimiento de la humedad necesaria.

En la Tabla 2.6 se presenta el promedio de la eficiencia de los diversos tipos de riego.

Tabla 2.6: Eficiencias de aplicación de agua con distintos métodos de riego (Adaptado de CNR, 2017).

Método de riego	Eficiencia [%]
Tendido	30
Surco	45
Surco (en contorno)	50
Bordes (en contorno)	50
Bordes rectos	60
Pretilas	60
Tazas	65
Borboteo	70
Aspersión	75
Microjet	85
Micro aspersión	85
Goteo	90

El reúso de aguas servidas tratadas también tiene como objetivo aprovechar el recurso más de una vez, siendo así una estrategia de ahorro y uso eficiente de agua (Fundación Chile, 2018), además de reducir los impactos ambientales aguas abajo en recursos hídricos y suelos, con el vertimiento directo de aguas servidas (García, 2010). Cabe mencionar que el reúso de aguas servidas en riego representa una oportunidad económica, técnica y ambientalmente sostenible en zonas con baja disponibilidad del recurso hídrico. Además, para el año 2030, se estima que la demanda por alimentos se incrementará en un 50 %, la de energía en 45 %, y la de agua en 30 % (ODEPA, 2018), lo que acentúa aún más la necesidad de buscar alternativas con respecto a la situación actual y proyecciones futuras.

Es de importancia que la calidad de las aguas tratadas sea la apropiada para ser reutilizada en riego, ya que sin el tratamiento adecuado podrían contener diversos tipos de patógenos y contaminantes las cuales podrían poner en riesgo la seguridad del consumo del cultivo. Por esta razón es necesario diferenciar los tipos de cultivo que son regados con aguas servidas tratadas (EPA, 2012):

- **Cultivos alimentarios:** el uso de aguas servidas tratadas para riego superficial o por aspersión de cultivos alimentarios destinados al consumo humano, que son consumidos crudos.
- **Cultivos alimentarios procesados:** El uso de aguas servidas tratadas para riego superficial de cultivos alimentarios que están destinados al consumo humano y procesados antes de ser consumidos.

- **Cultivos no alimentarios:** El uso de aguas servidas tratadas para el riego de cultivos que no son consumidos por los seres humanos, entre ellos se incluyen los cultivos de forrajes, fibras y semillas, o para el riego de pastizales, viveros comerciales y granjas de césped

Las aguas servidas se producen de manera relativamente constante durante el año, sin embargo, el riego tiene una demanda variable, especialmente en épocas secas, por lo que es necesaria la compensación de la variación de oferta constante y demanda variable (Figura 2.4). De esta forma, se requiere realizar un almacenamiento estacional, es decir, que pueda sobrellevar los cambios durante el año. Se pueden diferenciar dos alternativas de almacenamiento: (i) superficial, que puede ser realizado en cualquier proyecto, o (ii) subterráneo, por infiltración (Libhaber y Orozco-Jaramillo, 2015). En la Figura 2.5 se puede apreciar un bosquejo de la utilización de embalses de estabilización para la reutilización de aguas servidas.

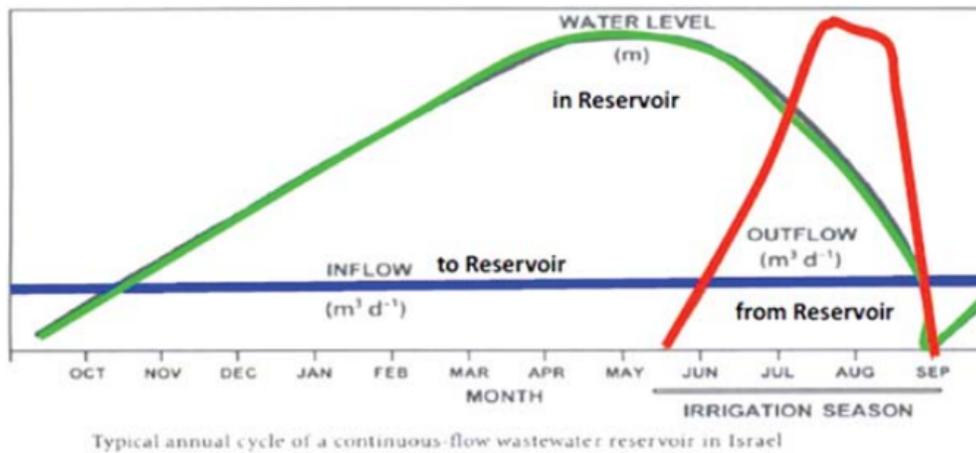


Figura 2.4: Ciclo típico de un embalse de estabilización (Libhaber y Orozco-Jaramillo, 2015).

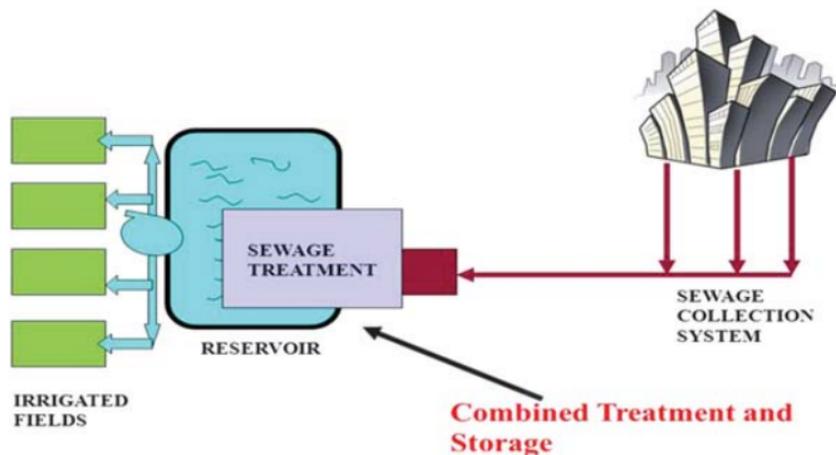


Figura 2.5: Reúso de aguas servidas utilizando embalse de estabilización que combina almacenamiento y tratamiento (Libhaber y Orozco-Jaramillo, 2015).

## 2.3. Normativas referentes al reúso de aguas servidas

Dada la importancia de la calidad de las aguas para evitar riesgos en la salud pública se hace indispensable el establecimiento de guías y regulaciones para el uso seguro de las aguas servidas tratadas en diferentes aplicaciones (Metcalf y Eddy, 2004). En este contexto, se presentan las principales normas, directrices, reglamentos y leyes que contemplan el reúso de aguas servidas a nivel internacional y nacional.

### 2.3.1. Internacional

Las normas y directrices pioneras de carácter internacional en la reutilización de aguas servidas han sido las bases y la inspiración de muchos países alrededor del mundo (Shoushtarian y Negahban-Azar, 2020), ya que de esta forma han podido optimizar sus legislaciones según la visión y experiencia entregada por otros países (Sepúlveda et al., 2020).

A continuación se presenta un listado de diferentes directrices, estándares, criterios, guías y regulaciones de diferentes países o entes internacionales para el desarrollo del reúso de aguas servidas en agricultura, los cuales se han ido desarrollando a medida que avanza el conocimiento en el área (Shoushtarian y Negahban-Azar, 2020; Dingemans et al., 2020).

- Directrices de la Organización Internacional de Normalización (ISO), referentes al reúso de aguas servidas.
- Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises (2006, revisión en curso).
- Directrices EPA para la reutilización del agua (2012).
- Título 22 de EE. UU. y California (actualizado en 2015).
- Incorporación en el marco regulatorio del estado de Colorado (no hay otros estados o reglas federales en EE.UU.).
- Regulación federal de EE. UU. Ley de Modernización de la Seguridad Alimentaria (2017) (relevante para el riego de cultivos en América Latina).
- Directrices australianas para el reciclaje de agua (AGWR, 2006).
- Directrices nacionales de Omán para la reutilización del agua.
- Normas nacionales de los Estados miembros de la Unión Europea (ej.: Real Decreto 1620/2007 de España).
- Requisitos mínimos de la Comisión Europea de calidad para la reutilización del agua en riego agrícola y recarga de acuíferos (2017).
- Los Emiratos Árabes Unidos desarrollan un marco legal para la reutilización del agua (estudios de viabilidad en curso).
- Criterios de Irán para el uso de agua reciclada (2010).
- Las pautas de calidad del agua para los esquemas de agua reciclada del estado australiano de Queensland (DNRW 2008c).

### 2.3.2. Nacional

Dentro del marco legal asociado a las normativas jurídicas referentes al reúso de aguas servidas, destacan leyes y decretos de carácter obligatorio y normativas de carácter voluntario (descripción legal en el Anexo A). En este ámbito, el Decreto Supremo 90/2000 “Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales” es indispensable para conocer la calidad de las aguas servidas que serán dispuestas en algún cauce superficial y continental o marítimo ya que esto tiene un efecto directo en el ecosistema que se ve expuesto. También, es necesario considerar el Decreto Supremo 46/2002 que “Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas” y el Decreto Supremo 609/98 que “Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado”.

Para la utilización de las aguas en diferentes actividades se encuentra la NCh 1.333 del año 1978 y modificada el año 1987, la cual entrega los requisitos de calidad que debe tener el agua para diferentes usos, como el agua para consumo humano, bebida de animal, recreación y estética, vida acuática y riego. Esta última es de importancia para esta investigación. Esta norma no hace distinción entre las aguas crudas y servidas, pero sí hace referencia a las normativas de agua potable. Por lo tanto, se tienen que establecer los antecedentes de calidad de agua necesarios para la búsqueda de la tecnología de tratamiento que alcance la calidad requerida.

En el caso del uso del agua en riego, sería de importancia compatibilizar las normativas mencionadas, ya que luego del tratamiento de las aguas servidas y disposición en cauces superficiales y continentales por parte de las sanitarias, se tendría una calidad óptima para su uso inmediato de riego de algunos cultivos.

Dado el contexto de escasez existente en el país, se ha ido trabajando en nuevas normativas respecto a la reutilización de aguas servidas tratadas. El primer avance fue el año 2018 mediante un conjunto de normas que abarcan las aguas grises, entre la que se encuentra la ley 21.075 (en vigencia) que regula la recolección, reutilización y disposición final de aguas grises (aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras), y establece los procedimientos y consideraciones necesarias para sus distintos usos, como riego de plantas ornamentales, riego de campos deportivos y uso en aguas para el inodoro, pero prohibiendo su utilización en usos que se relacionen con el consumo humano. El avance normativo continúa con la generación de normas técnicas y lineamientos para la reutilización de aguas servidas tratadas. 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.

- prNCh3456/3 (2021). Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego - Parte 3: Componentes de un proyecto de reúso para riego.
- prNCh3456/4 (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 respecto a la reutilización de aguas servidas tratadas sigue en proceso, con un conjunto de normas relacionadas con su uso en riego, las cuales buscan definir las directrices, procedimientos, consideraciones y calidades para el uso eficiente y óptimo en riego, según lo informado por la página del INN se encuentran en tramitación:

- prNCh3435 (En tramitación). Actividades de servicio relacionadas con el suministro de agua potable, aguas residuales y sistemas de aguas pluviales - Vocabulario.
- prNCh3452 (En tramitación). Reúso de aguas residuales tratadas para riego - Directrices para la adaptación de sistemas y prácticas de riego a aguas residuales tratada.

Una característica fundamental en los países que han desarrollado el reúso de aguas servidas tratadas es el apoyo normativo, que fomenta y establece estándares adecuados para su implementación (FCH, 2018). En Chile, la Corte Suprema facultó en el año 2011 a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para dirimir respecto de la obligación de las sanitarias de descargar aguas tratadas a los cauces naturales, pero no se hace una referencia a una regulación expresa al reúso.

La regulación normativa para la disposición de aguas servidas es de gran importancia ambiental, ya que tiene un efecto directo en el cuerpo de agua que las reciben. Por lo tanto, el avance normativo que se ha ido implementado con el DS90/2000 ha mejorado la calidad de las aguas que se depositan en los diferentes cauces. En la Figura 2.6 se presenta la distribución normativa del DS90/2000 para diferentes sistemas tratamientos, diferenciándose los sistemas que utilizan disolución del cuerpo receptor como parte del tratamiento y sin disolución los sistemas que naturalmente permiten cumplir las exigencias de disposición.

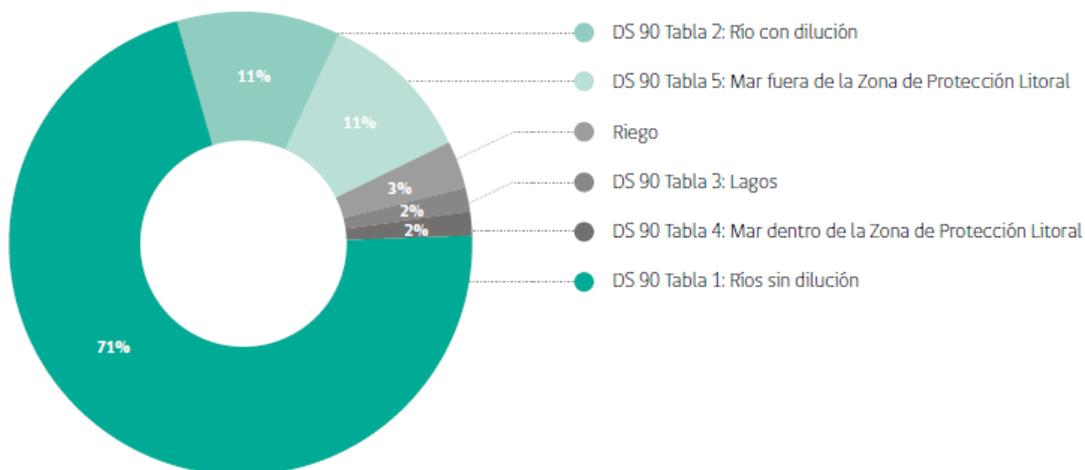


Figura 2.6: Distribución de normativa en sistemas de tratamiento (SISS, 2019).

# Capítulo 3

## Definición de las zonas potenciales de reúso de aguas servidas tratadas

### 3.1. 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 Tabla 3.1 se presentan los resultados respecto a la situación actual y futura del balance.

Tabla 3.1: Oferta y demanda de agua por región en base a balance hídrico, periodo actual 1985-2015 y proyectado 2030. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2020.

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					

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 acrecenta en el escenario futuro de cambio climático (año 2030) añadiéndose, además, las regiones de Ata-

cama y Valparaíso.

Para evaluar la presión que ejerce la demanda sobre la oferta de agua en todas las regiones se utilizará la relación en porcentaje demanda dividido oferta, también conocida como índice de escasez hídrica. En la Figura 3.1 se presentan cuatro mapas de calor con los parámetros de oferta, demanda, balance y presión hídrica sobre la situación actual y futura.

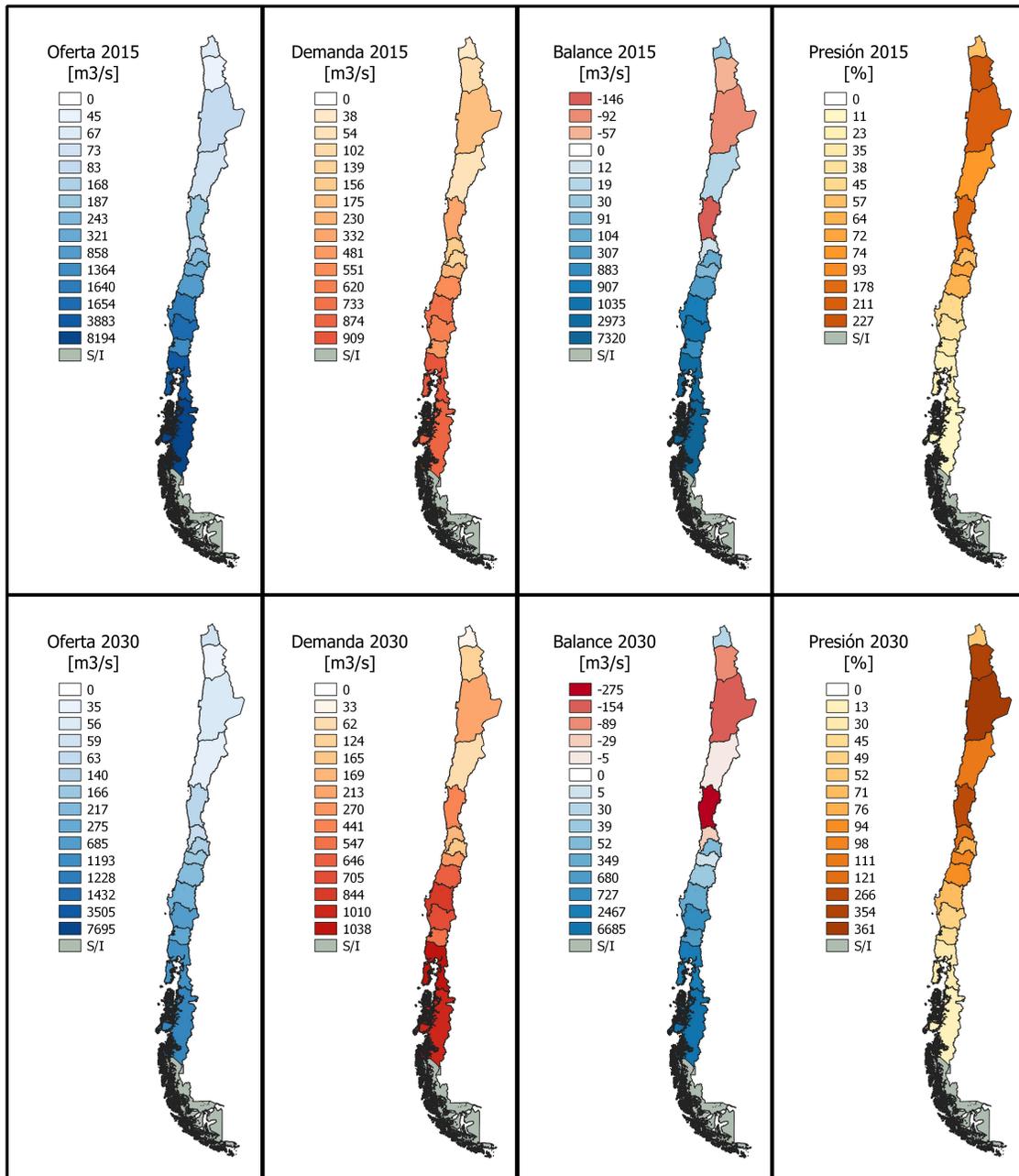


Figura 3.1: Oferta, demanda, balance y presión hídrica regional, en situación actual y futura.

De lo anterior, se puede observar que la notable diferencia del recurso hídrico a lo largo del

país, con una baja considerable desde la región del Maule al norte. Por otra parte, la demanda de agua no es proporcional a la oferta, con lo cual crea problemas de escasez extrema en regiones donde la disponibilidad de agua es sobrepasada. También, se aprecia una gran presión de agua desde la región del BioBío por sobre un 40 %, lo que sugiere la necesidad de establecer medidas de gestión y técnicas de mitigación contra la crisis hídrica en las regiones que se está viviendo o tiene grandes potenciales de presentar esta situación a corto o mediano plazo, según corresponda.

### 3.1.1. Variación en los caudales y demanda de agua por actividad

Para un análisis enfocado al nivel caudales de cada región, en la Figura 3.2 se presenta un mapa de la variación de los caudales de diciembre del año 2020, comparados con el promedio histórico del periodo 1981-2010. Se puede apreciar una disminución importante en los caudales, con valores por sobre el 90 % en la zona norte.

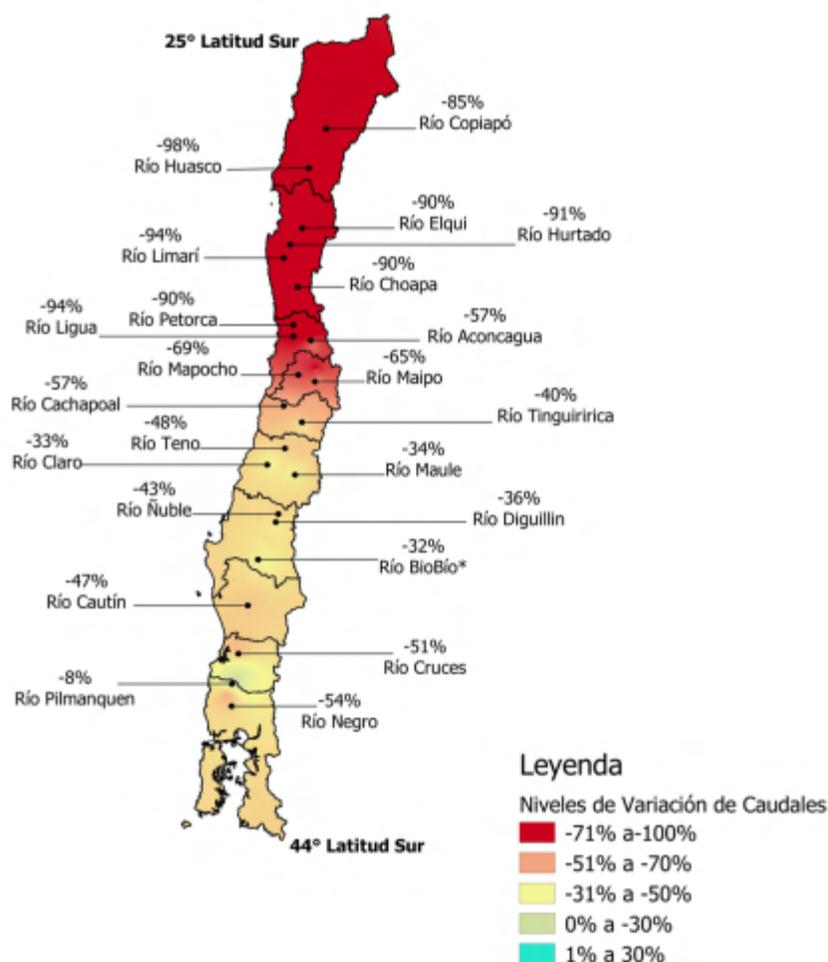


Figura 3.2: Variación de caudales diciembre 2020 (DGA, 2019c).

Con respecto a la demanda, es necesario considerar que el agua requerida y utilizada pueda estar concentrada en algunos sectores económicos y geográficos de cada región, por lo que el déficit/superávit de agua generado se debería a un problema de distribución hídrica. En la

Tabla 3.2 se presenta la demanda consuntiva para el año 2015 por región y sector económico.

Tabla 3.2: Demanda estimada de agua por sector económico (DGA, 2017).

Región	Agrícola m <sup>3</sup> /s	Pecuario m <sup>3</sup> /s	Agua Potable urbana y rural m <sup>3</sup> /s	Industrial y energía m <sup>3</sup> /s	Minería m <sup>3</sup> /s	Total m <sup>3</sup> /s
Arica y Parinacota	2,32	0,010	0,43	0,01	0,02	<b>2,79</b>
Tarapacá	0,54	0,003	0,7	0,14	1,63	<b>3,02</b>
Antofagasta	1,47	0,003	1,24	0,94	4,79	<b>8,44</b>
Atacama	4,45	0,008	0,56	0	1,27	<b>6,28</b>
Coquimbo	14,65	0,047	1,45	0,15	1,33	<b>17,63</b>
Valparaíso	21,32	0,107	3,58	7,54	1,51	<b>34,06</b>
Metropolitana	40,27	0,578	21,29	2,4	0,74	<b>65,27</b>
O'Higgins	54,65	0,554	2,27	0,39	2,24	<b>60,10</b>
Maule	89,50	0,138	1,88	1,3	0	<b>92,82</b>
Bío Bío + Ñuble	15,09	0,067	3,58	17,28	0	<b>36,02</b>
Araucanía	5,47	0,196	1,43	1,7	0	<b>8,80</b>
Los Lagos	0,17	0,228	0,74	2,48	0	<b>3,62</b>
Los Ríos	0,08	0,300	1,22	4,37	0	<b>5,97</b>
Aysén	0,02	0,042	0,21	0,03	0,09	<b>0,40</b>
Magallanes	0,07	0,100	0,35	0,15	0,02	<b>0,69</b>
<b>Total</b>	<b>250,07</b>	<b>2,38</b>	<b>40,93</b>	<b>38,88</b>	<b>13,64</b>	<b>345,91</b>

Se observa que la demanda hídrica recae principalmente en el sector agrícola, sin embargo, a nivel regional se pueden identificar las siguientes actividades económicas: en la zona norte, las regiones de Arica y Parinacota, Atacama y Coquimbo la mayor solicitud de agua proviene del sector agrícola, mientras que en Tarapacá y Antofagasta es el minero; en la zona centro predomina el sector agrícola; en la zona sur, las región compuesta por la del BioBío y Ñuble predomina el sector industrial; mientras que en las regiones de la Araucanía, Los Ríos y Los Lagos prevalece el sector agrícola. Finalmente, en la zona austral es el sector de agua potable urbana y rural el que domina la demanda de agua. De esta forma, el promedio nacional de demanda no representa la situación local de cada región y es por ello que es necesario realizar un análisis más detallado de oferta y demanda de cada región para para buscar las potenciales alternativas y soluciones de cada caso.

## 3.2. Plantas de tratamiento de aguas servidas

Las aguas servidas son conducidas a las plantas de tratamiento de aguas servidas para cumplir con las normativas sanitarias, el marco legal y regulación ambiental para su posterior disposición o reutilización. Para lograr la calidad establecida es necesario realizar un tratamiento a las aguas, el cual dependerá del sistema o tecnología utilizada. En Chile, existen diferentes tipos de tratamiento para las aguas servidas, destacándose principalmente los lodos activados, lagunas aireadas y emisarios submarinos, como se muestra en la Figura 3.3.

La mayoría de los sistemas de tratamientos de aguas servidas en Chile generan aguas tratadas que son posteriormente reutilizadas de forma indirecta o directa, por lo cual no generan necesariamente una nueva fuente de aguas, a excepción de los emisarios submarinos y las PTAS ubicadas en zonas costeras, cuyas aguas son descargadas directamente en el mar o en

cuerpos cercanos al mar, perdiendo su posible reúso como fuente de agua directa o indirecta. Por lo tanto, para evaluar las potenciales zonas de reutilización de aguas servidas tratadas es necesario analizar los emisarios submarinos y PTAS costeras a nivel regional.

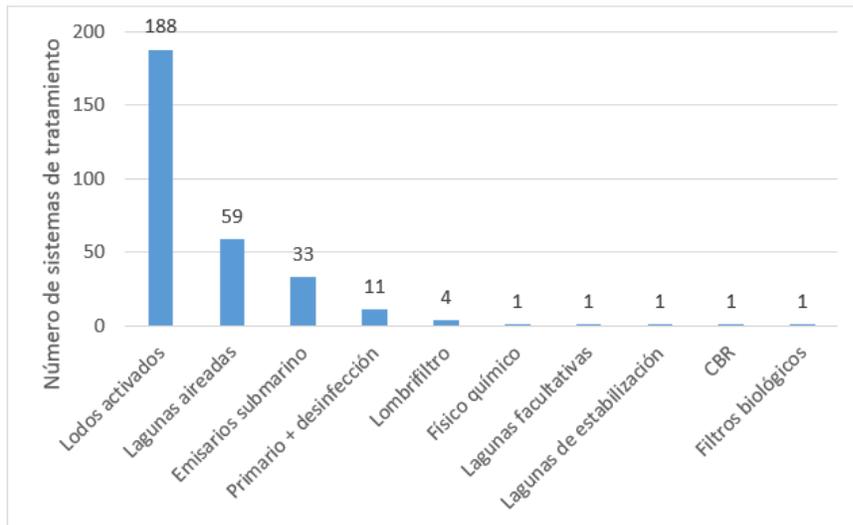


Figura 3.3: Cantidad de sistemas de tratamiento (SISS, 2019).

### 3.2.1. Emisarios submarinos y PTAS costeras

Para identificar el aporte de los sistemas de tratamientos al reúso de aguas tratadas es necesario identificar sus ubicaciones a nivel regional, y así evaluar el aporte real de las aguas servidas. En la Tabla 3.3 se presenta el caudal de aguas servidas descargados por los sistemas de tratamientos potenciales (emisarios submarinos y PTAS costeras).

Tabla 3.3: Caudal effluente de emisarios submarinos y PTAS costeras del año 2020 (DGA, 2017).

<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>

Cabe destacar que durante esta investigación se considerará que el caudal a evaluar y diseñar será el del año 2020, bajo el supuesto de que las aguas servidas producidas futuras no tendrán gran variación respecto al año escogido.

### 3.3. Aporte de las aguas servidas tratadas en zonas potenciales

Con los antecedentes obtenidos se observa que desde la región del Bío Bío + Ñuble hacia el norte la exigencia hídrica es preocupante, sobretodo en la zona norte donde en algunas regiones la demanda sobrepasa la disponibilidad de agua. Por otro lado, considerando el caudal effluente de los emisarios submarinos y PTAS costeras, las regiones Metropolitana y Aysén no presentan aporte de aguas servidas. Es por ello que las regiones en la cual se delimita el estudio son aquellas comprendidas entre Arica y Parinacota hasta Bío Bío + Ñuble, excluyendo la región Metropolitana dado su nulo caudal en los sistemas de tratamientos evaluados. Por lo tanto, existen dos alternativas para analizar el aporte de aguas servidas: (i) como una fuente de agua nueva para nuevas actividades, o (ii) como una fuente de agua que ayude con la disminución de demanda existente, ambos casos como aumento en la oferta de aguas.

#### 3.3.1. Reúso de aguas servidas tratadas en riego

Como ya se mencionó, el sector agrícola lidera la demanda en de agua a nivel nacional, ya sea siendo la primera o segunda actividad con mayor demanda, lo cual denota un amplio campo de aplicación en el reúso de aguas servidas tratadas en el sector agrícola, específicamente en riego.

En este contexto, es necesario analizar las superficies de riego de las regiones potenciales, en

la Tabla 3.4 se muestra la superficie total regada por sistema de riego.

Tabla 3.4: Superficie total regada por región en 2006-2007, según sistema de riego (ha) (INE, 2007).

Región	Por Tendido	Por Surco	Otro Tradicional	Por Aspersión Tradicional	Por Carrete o Pivote	Por Goteo o Cinta	MicroAspersión y Microjet	Total Regado [ha]
XV Arica y Parinacota	7130,21	1482,95	380,29	29,04	0,00	2015,63	138,98	11177,10
I Tarapacá	744,45	16,58	47,34	24,77	0,33	308,43	20,01	1161,91
II Antofagasta	2193,10	34,89	72,99	27,29	0,18	17,71	0,60	2346,76
III Atacama	3778,52	3523,70	204,22	9,50	60,00	11999,89	61,40	19637,23
IV Coquimbo	19590,31	18163,68	787,42	273,05	897,90	35008,48	1097,68	75818,52
V Valparaíso	16721,72	19152,00	534,97	1765,26	1085,24	32925,69	14702,73	86887,61
RM Metropolitana	33187,22	57547,28	1140,92	881,53	3022,70	38079,42	4834,77	138693,84
VI O'Higgins	48637,04	102540,88	2587,71	1155,04	1657,90	51295,43	5301,73	213175,73
VII Maule	152627,61	94468,32	14851,05	3442,69	2163,04	27713,76	10262,73	305529,20
VIII Biobío	127695,50	14035,91	2779,90	5979,08	11499,20	5476,89	1129,65	168596,13
IX Araucanía	29189,87	2209,90	2025,26	9407,60	2906,80	3615,62	751,60	50106,65
XIV Los Ríos	331,10	41,30	118,20	3905,70	2367,00	1290,90	147,70	8201,90
X Los Lagos	54,30	4,00	19,80	2180,70	826,20	1376,50	9,90	4471,40
XI Aysén	1019,76	202,15	17,59	1487,81	0,10	51,44	182,00	2960,85
XII Magallanes	16354,56	3061,71	23,82	338,04	0,00	14,03	2,14	19794,30
<b>Total</b>	<b>459255,27</b>	<b>316485,25</b>	<b>25591,48</b>	<b>30907,10</b>	<b>26486,59</b>	<b>211189,82</b>	<b>38643,62</b>	<b>1108559,13</b>

Además, en relación a la disponibilidad de agua para riego, la DGA realiza un informe sobre el pronóstico de caudales de deshielo para la temporada estival de cada año, analizando caudales, precipitaciones, nieve. Esto permite estimar la situación de riego esperada de las regiones del norte, centro y sur del país. En la Figura 3.4 se presenta la situación de riego esperada para los años 2014-2015 y cuya situación se ha vuelto más crítica debido a la crisis hídrica del país que se ha descrito anteriormente.

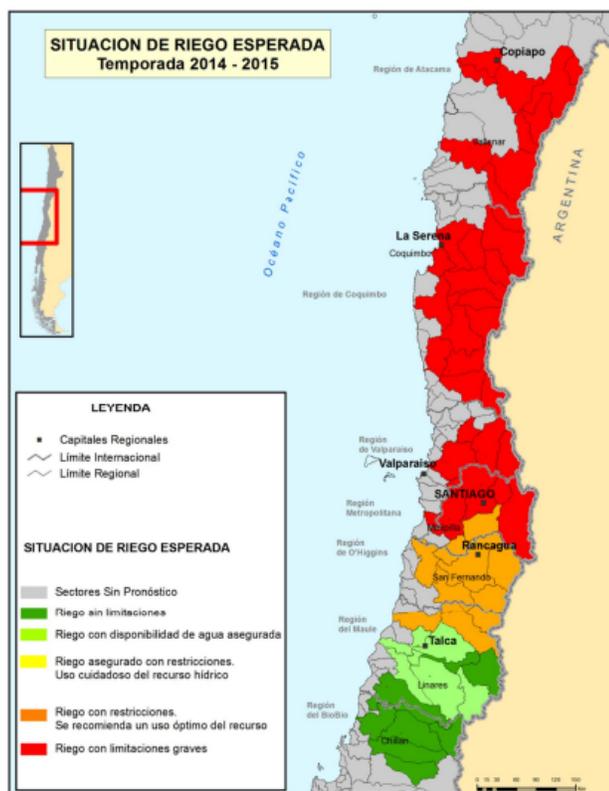


Figura 3.4: Situación de riego esperada para los años 2014-2015 (DGA, 2014).

Para obtener el rendimiento superficial de las aguas servidas tratadas en riego es necesario conocer la tasa de riego asociada al sistema de riego utilizado, tipo de cultivo, presión de agua,

entre otras. Para este caso, se supone un sistema de riego tecnificado (goteo o microaspersión) con una tasa de 0,5 l/s por hectárea (estimación conservadora, pudiéndose considerar tasas de riego más eficientes, como la utilizada por Fundación Chile, 2016 de 0,25 l/s/ha) y una necesidad de riego constante, obteniéndose las superficies regadas utilizando aguas servidas tratadas como se muestra en la Tabla 3.5.

Sin embargo, con la obtención de la superficie regada en cada región es necesario analizar la ubicación de las zonas de riego que se encuentren cercanas a la costa, ya que el costo del transporte de aguas es elevado y, por ende, no es factible regar superficies muy alejadas de las zonas costeras. También, es importante destacar que actualmente se lleva a cabo un nuevo censo agrícola, con el cual será posible analizar de forma actualizada las zonas de cultivo y riego de cada región para el potencial riego con aguas servidas tratadas.

Tabla 3.5: Hectáreas regadas con aguas servidas tratadas de emisarios submarinos (ES) y PTAS costeras (PATSc).

<b>Región</b>	<b>Caudal (ES + PTASc) [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Hectáreas regables</b>
Arica y Parinacota	0,40	790,14
Tarapacá	0,72	1448,78
Antofagasta	0,99	1987,86
Atacama	0,10	206,47
Coquimbo	0,94	1884,07
Valparaíso	3,22	6429,6
Metropolitana	0,00	0,00
O'Higgins	0,04	77,11
Maule	0,13	259,65
Bio Bio + Ñuble	2,60	5209,63
<b>Total</b>	<b>9,15</b>	<b>18293.34</b>

# Capítulo 4

## Experiencias de reúso de aguas servidas tratadas

### 4.1. Experiencia Internacional

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 (WWAP, 2017), 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 (WWAP, 2017). Chile se destaca en el tratamiento de aguas servidas a nivel mundial, como se muestra en la Figura 4.1.

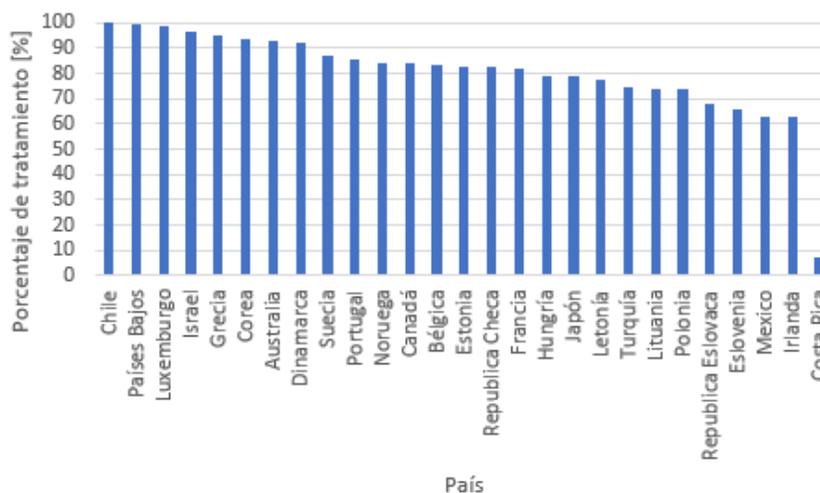


Figura 4.1: Cobertura de tratamiento internacional (OCDE, 2017).

La generación de aguas servidas crece en conjunto con el crecimiento de la población, lo que crea un mayor potencial de reutilización de aguas residuales tratadas globales (EPA, 2012). Además, con el desarrollo de las tecnologías de tratamientos es posible producir la calidad de agua requerida para cualquier uso, incluso obtener una calidad mayor a la de agua potable (Angelakis et al., 2018). Para tener un visión de la situación internacional en el desarrollo de las aguas servidas, la Figura 4.2 presenta la recolección, tratamiento y reutilización de las aguas servidas en el mundo (Jones et al., 2021).

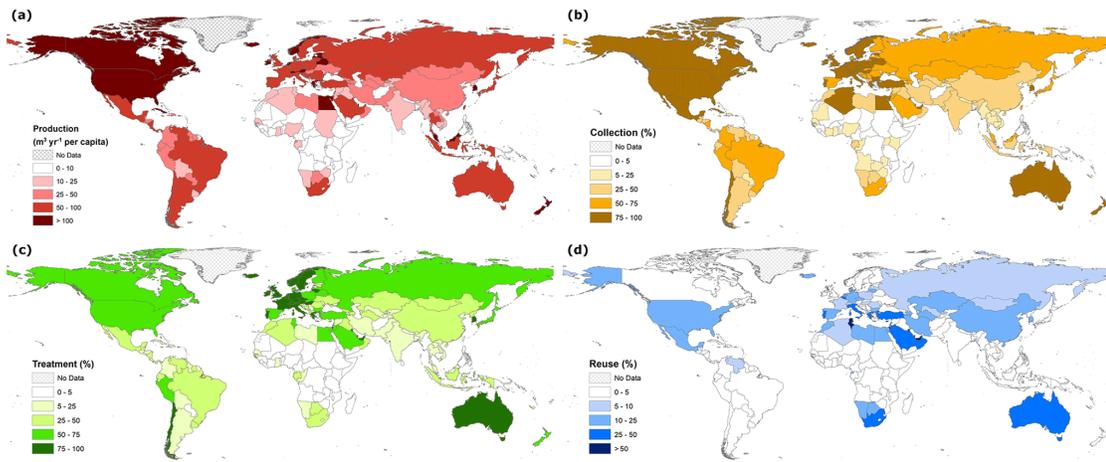


Figura 4.2: (a) Producción de aguas servidas (b) Recolección (c) Tratamiento (d) Reutilización, en  $\text{m}^3/\text{año}$  per cápita a escala de país (Jones et al., 2021).

A nivel de campo de aplicación, alrededor del 70 % del agua total demandada se utiliza para la agricultura (principalmente para riego); seguido por las industrias con un 20% y un 10% el uso doméstico, según el sistema de datos AQUASAT de la FAO. En la reutilización de aguas, el área agrícola también lidera la lista del campo de aplicación con mayor uso de aguas servidas. En la Figura 4.3 se muestra la reutilización de aguas municipales por actividad.

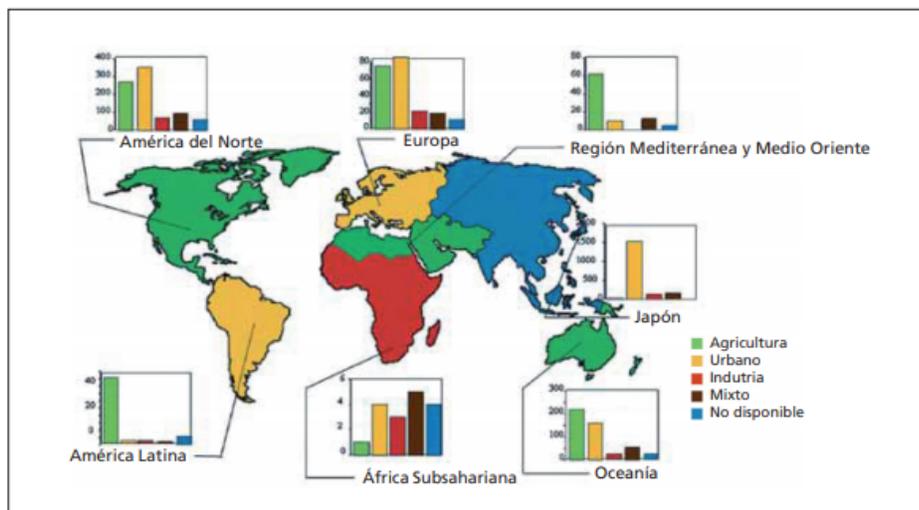


Figura 4.3: Sistemas de reutilización de aguas municipales, por campo de aplicación (FAO, 2013).

Para un estudio más detallado de la situación internacional se escogieron países de distintos

continentes e ingresos, con el fin de conocer su avance en la reutilización de aguas servidas tratadas.

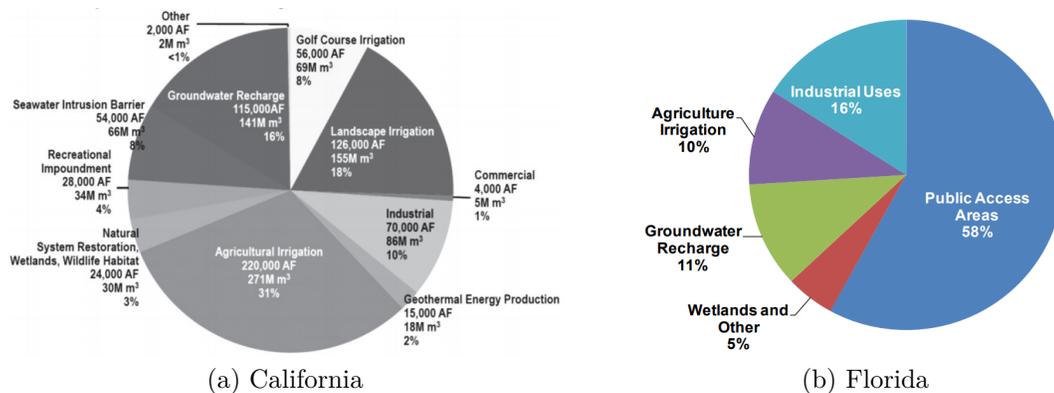
#### 4.1.1. Estados Unidos

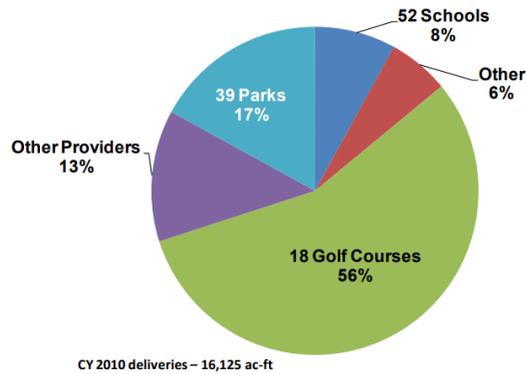
El reúso de aguas servidas tratadas en Estados Unidos depende del Estado. En un comienzo, los estados de California, Florida, Arizona y Texas concentraba más del 90 % del reúso del país, pero dicho porcentaje ha disminuido debido al aumento de reutilización en otros estados como Nevada, Colorado, Nuevo México, Virginia, Washington y Oregón (EPA, 2012). Florida es el estado con mayor reutilización en el país, seguido por California. En la Tabla 4.1 se presentan los estados con mayor reutilización en el país (Sheikh et al., 2018).

Tabla 4.1: Reporte de reutilización de aguas servidas en Estados Unidos (Sheikh, 2018).

Estado	Población	Reutilización de agua reportada, m <sup>3</sup> /d
Florida	18.019.093	2.500.000
California	36.121.296	2.200.000
Texas	23.367.534	120.000
Virginia	7.628.347	42.000
Arizona	6.178.251	31.000
Colorado	4.751.474	20.000
Nevada	2.484.196	10.000
Idaho	1.461.183	3.000
Washington	6.360.529	400

Además, en la Figura 4.4 se presenta la distribución en la aplicación de agua reutilizada en tres estados: California, Florida y Tucson, Arizona.





(c) Tucson, Arizona

Figura 4.4: Reutilización de agua por tipo de aplicación en los estados de (a) California, (b) Florida y (c) Tucson, Arizona (Sheikh et al., 2018; EPA, 2012).

### 4.1.2. Australia

Australia cuenta con una población pequeña y un territorio árido donde las precipitaciones son escasas y las limitaciones de agua se agravan con el cambio climático. En 1990 se impusieron limitaciones a la calidad de descargas de las plantas de tratamientos de aguas servidas, lo cual se convirtió en un incentivo de reúso. Además, la gran sequía de los años 2000-2009 impulsó la necesidad de buscar nuevas fuentes de aguas, como la reutilización de aguas servidas y la desalinización de agua de mar (Radcliffe y Page, 2020). Hasta el año 2012, Australia reutilizaba un 8% de sus aguas servidas (EPA, 2012).

Los gobiernos del país han trabajado en conjunto para desarrollar e implementar el sistema nacional de calidad de agua. La reutilización de agua depende de cada estado, siendo los estados del norte los que reutilizan una menor cantidad de agua y Australia Meridional donde se reutilizan una mayor cantidad. Western Water (una autoridad en materia de agua en Victoria) recicla entre el 90 y el 100% de sus aguas servidas. Por otro lado Perth, la ciudad de Toowoomba (Queensland) no ha reutilizado tras desistir una propuesta de reutilización potable en 2006 (EPA, 2019).

### 4.1.3. Israel

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. El país cuenta con 67 plantas de tratamiento de aguas servidas, de las cuales 10 son capaces de tratar más del 56% del total de las aguas generadas a nivel nacional (EPA, 2019). De esta forma, el país ha logrado grandes avances en la reutilización de las aguas servidas tratadas.

Debido a los problemas con el agua, Isarel 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 Andualem, 2020). En la Figura 4.5 se presentan las fuentes de aguas para la agricultura a lo largo de los años, es importante resaltar que los últimos

años la utilización de agua servida tratada es mayor a los otros tipos de agua.

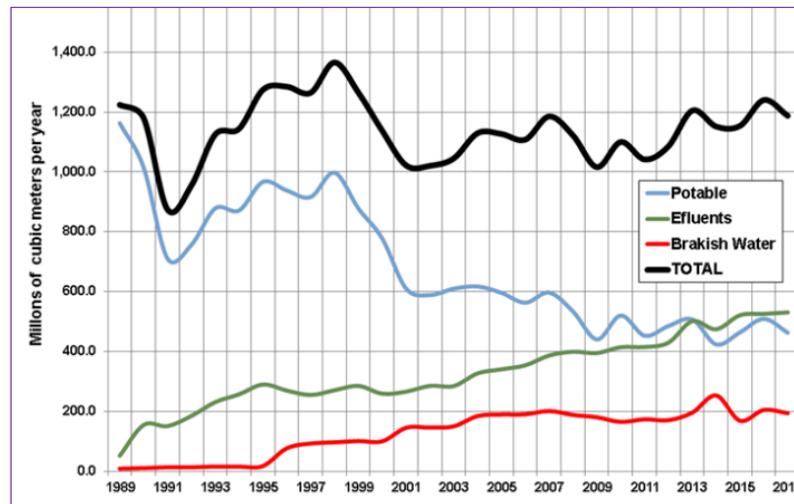


Figura 4.5: Fuentes de agua para la agricultura en Israel (Kiperwas, 2021).

#### 4.1.4. 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 utilizan principalmente en agricultura (62 %), riego de zonas verdes (20 %) y la industria (7 %) (Méndez, 2019).

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). A continuación se presenta una proyección de reutilización en España.

Datos en m <sup>3</sup> /año	Horizonte 2012	Horizonte 2015	Horizonte 2021	Horizonte 2033
Volumen tratado EDARs municipales DHS	140.112.040	144.095.071	147.520.942	159.506.145
Volumen vertido por EDARs a cauce	61.866.110	61.470.721	61.481.173	58.460.345
Reutilización directa EDARs municipales	78.246.454	82.578.550	85.987.208	100.985.539
Reutilización directa EDARs privadas uso agrario	3.367.715	3.367.715	3.367.715	3.367.715
Reutilización directa EDARs privadas uso servicios (golf)	2.778.830	2.778.830	2.778.830	2.778.830
<b>TOTAL REUTILIZACIÓN DIRECTA</b>	<b>84.392.999</b>	<b>88.725.095</b>	<b>92.133.753</b>	<b>107.132.084</b>
Volumen vertido al mar y uso medioambiental Rambla Moreiras	7.285.009	6.695.098	7.082.335	1.508.053
<b>TOTAL REUTILIZACIÓN INDIRECTA PARA TODOS LOS USOS</b>	<b>54.038.111</b>	<b>54.223.744</b>	<b>53.874.032</b>	<b>56.406.249</b>
<b>TOTAL REUTILIZACIÓN DE EDARS EN LA CUENCA DEL SEGURA</b>	<b>138.431.110</b>	<b>142.948.839</b>	<b>146.007.785</b>	<b>163.538.333</b>

Figura 4.6: Reutilización de aguas servidas tratadas al año 2012 con horizontes para 2015, 2021 y 2033 (Mendez, 2019).

#### 4.1.5. China

China tiene un gran potencial en el reúso de aguas servidas tratadas, por lo que tiene planes ambiciosos para promover medidas de reutilización. Con respecto a la descarga de aguas residuales, aumentó de 48,2 mil millones de toneladas en 2004 a 69,5 mil millones de toneladas en 2013, mientras que la reutilización de las aguas servidas domesticas aumentó de 26,1 mil millones de toneladas en 2004 a 48,5 mil millones de toneladas en 2013. La cantidad de aguas servidas tratadas es considerable lo que se debe a la gran densidad poblacional y urbanización del país (Lyu et al., 2016).

Existen 5364 plantas de aguas servidas en el país con capacidad de tratamiento de 165,7 millones de toneladas por día. El índice de reutilización de aguas servidas tratadas es de un 63 % en año, mientras que la tasa de tratamiento de aguas residuales municipales alcanzó un 87,2% del total de las aguas, sin embargo, esto es solo el 5% de la capacidad total de tratamiento (Lyu et al., 2016). En la Figura 4.7.a se presenta gráficamente el avance en la reutilización a lo largo de los años, mientras que en la Figura 4.7.b la cantidad de ciudades con algún tipo de reúso de aguas servidas.

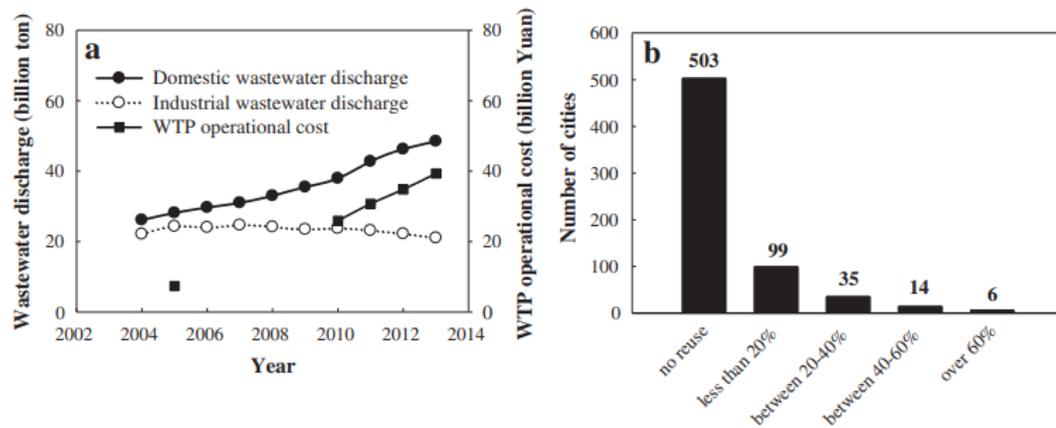


Figura 4.7: Reutilización de aguas servidas en ciudades de China; (a) cantidades de descarga de aguas residuales domésticas e industriales frente a aguas residuales costo operativo de las plantas de tratamiento (WTP); (b) número de ciudades con diferente nivel de reutilización (Lyu et al., 2016).

#### 4.1.6. Japón

En Japón, el primer plan de reutilización de aguas servidas fue la descarga de inodoros e irrigación de jardines, este plan se realizó dada la grave sequía que azotó al país el año 1978, lo cual continuó en el tiempo incluyendo más medidas de reúso de aguas servidas. A pesar del tiempo transcurrido, los proyectos de reúso de aguas servidas son limitados debido a los estándares de calidad inadecuados para esta agua y al alto consumo de energía del agua instalaciones de regeneración (Takeuchi y Tanaka, 2020).

Dada la baja disponibilidad de agua dulce en conjunto con las sequías severas en Japón, se comenzó a evaluar las alternativas de reutilización de aguas servidas en el país. Con el fin de promover y enfatizar la importancia del reúso, el gobierno estableció en el año 2014 “Ley básica del ciclo del agua”, “Nueva Visión de las Aguas Residuales” y en el año 2015 “Política de Recursos Hídricos” (Takeuchi y Tanaka, 2020).

El agua reutilizada que fue consumida fuera de la planta de tratamiento de aguas servidas fue de 210 millones de m<sup>3</sup>/año en 2016, representando solo un 1,3% del total de aguas servidas producidas. Además, solo el 8% de un total de 176 plantas de tratamiento cuentan con instalaciones de recuperación de aguas (Takeuchi y Tanaka, 2020). En la Figura 4.8 se presentan las aplicaciones más comunes de aguas servidas tratadas en el país.

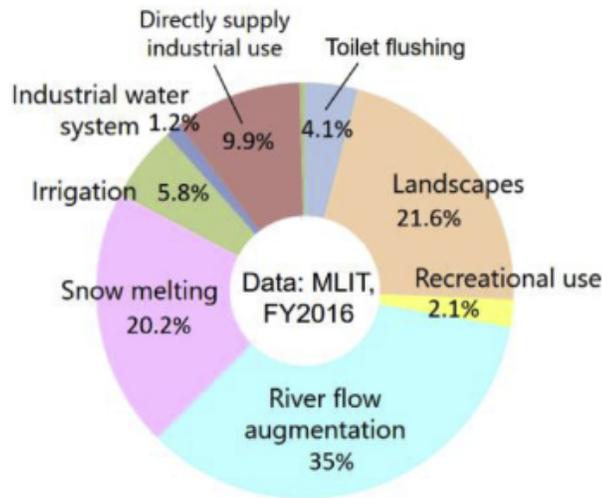


Figura 4.8: Aplicaciones de la reutilización del agua en Japón (Takeuchi y Tanaka, 2020).

#### 4.1.7. América Latina y el Caribe

El saneamiento en los países de América Latina y el Caribe varía en gran manera según el país, siendo Haití, Bolivia y Nicaragua los países con peor cobertura de saneamiento urbana, cifra que es aún menor en zonas rural. En cambio, países como Chile, Argentina y Uruguay lideran la lista con mejores porcentajes (FAO, 2017). En la Figura 4.9 se presenta un gráfico comparativo entre el acceso de saneamiento, tasas de conexión de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de distintos países de América Latina y el Caribe.

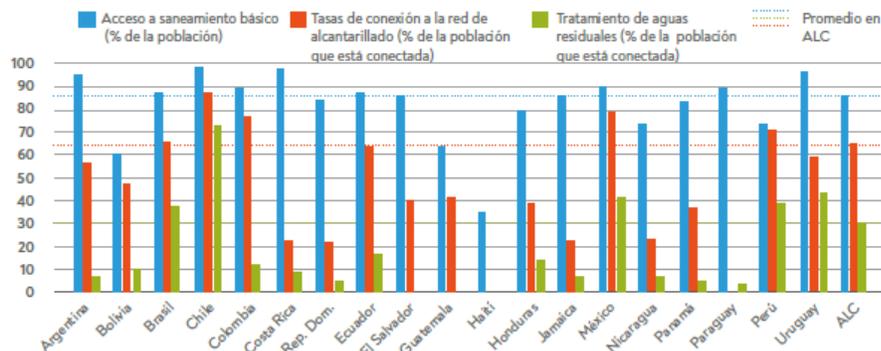


Figura 4.9: Acceso a servicios de saneamiento en países seleccionados de la región de América Latina y el Caribe en el año 2017 (Rodríguez, 2020).

Con respecto al reúso de aguas servidas tratadas en América Latina, existen algunos países que cuentan con distintos niveles de tratamiento y reutilizan aguas servidas, con o sin tratamiento, para riego en agricultura.

## México

Según las estadísticas de agua en México, al año 2017, dentro de las 2.526 plantas operacionales de tratamiento de aguas residuales municipales se trataron 135,6 m<sup>3</sup>/s de aguas servidas correspondientes al 63 % de las aguas recolectadas por los sistemas de alcantarillado. Por otra parte, las 3.025 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales trataron 83,7 m<sup>3</sup>/s (CONAGUA, 2018).

En este país, el mayor volumen de agua concesionada para uso consuntivos está designado para uso agrícola, principalmente para el riego, donde el país destaca con una de las mayores infraestructuras de riego en el mundo. Se estimó para el año 2017 un reúso directo de 39,8 m<sup>3</sup>/s de aguas servidas tratadas, 78,8 m<sup>3</sup>/s en reúso indirecto y 8,6 m<sup>3</sup>/s en intercambio de aguas residuales tratadas (CONAGUA, 2018). Por lo tanto, se estima que más 4.000 m<sup>3</sup>/año de agua servidas son reutilizados para la agricultura (García, 2010).

Dentro de los beneficios del reúso en el país se encuentran la disminución de la presión sobre las fuentes de agua, menor costo y la utilización en actividades que no requieren agua de calidad potable (CONAGUA, 2018).

## Colombia

Según el estudio sectorial realizado del año 2019, Colombia trató un caudal de 31,5 m<sup>3</sup>/s de aguas servidas en 712 sistemas de tratamiento de aguas residuales, esto es un aumento del 12 % en el caudal respecto al año 2018. Este caudal corresponde al 48,56 % del total de aguas servidas (tratadas y no tratadas) (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2020).

El sector agrícola de Colombia utiliza el 46,6 % del volumen total de agua utilizada en el país correspondiente a 16.760,3 m<sup>3</sup> según lo informado por Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC). De los cuales un 37 % del área de cultivos es regada con aguas servidas con o sin tratar (García, 2010).

## Argentina

Según los datos entregados por el Ministerio de Obras Públicas de Argentina en el año 2019, el 63 % de la población contaba con alcantarillado, porcentaje que disminuía en sectores más populares, mientras que en zonas rurales un 56 % tiene acceso a saneamiento. Con respecto al tratamiento de aguas residuales la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento indicó un nivel de 27 % en relación al total de aguas servidas recolectadas.

Según los datos entregados en el informe de FAO 2017, en el año 2010 Argentina produjo 2.458 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/año de aguas residuales municipales, de las cuales 2.168 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/año no fueron tratadas. Además, un caudal de 0,091 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/año de aguas residuales municipales fueron utilizadas directamente en el año 2011, donde se estima que 20.000 hectáreas de cultivos regados con aguas servidas tratadas y aún más hectáreas con aguas servidas sin tratar, diluidas o de forma indirecta (FAO, 2017).

## Perú

Según lo informado en el periodo de mayo 2019 a abril 2020 la población de Perú que cuenta con acceso a alcantarillado es de un 74,8 %, disgregado en un 89 % en áreas urbanas y un 19,5 % en áreas rurales (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020).

El país genera 1,34 km<sup>3</sup> de aguas residuales municipales, de las cuales se tratan 0,96 km<sup>3</sup> mediante las 336 plantas de tratamientos de aguas servidas (FAO, 2017). En el caso de Lima, en el año 2012 se generaron 1.202.286 m<sup>3</sup> de aguas residuales tratando un 21,2 % del total (OEFA, 2014).

Dentro de las actividades con mayor utilización de agua se encuentran los rubros energético y agrícola con 29.714,051 hm<sup>3</sup> y 15.818,389 hm<sup>3</sup> respectivamente, según lo informado para el año 2018 (Sistema Nacional de información de recursos hídricos (SNIRH), 2018). De las aguas servidas tratadas se utilizan 0,246 km<sup>3</sup> de forma directa en agricultura (FAO, 2017).

## Haití

Haití es el país con menor cobertura de alcantarillado de América Latina con tan sólo un 34 % en zonas urbanas y 10 % en zonas rurales según lo informado en el año 2015 (FAO, 2017). Con respecto a los servicios de tratamiento de aguas residuales, son casi inexistentes con sólo una planta de tratamiento construida en el año 2010 a raíz de la urgencia producida por el terremoto del mismo año (Martínez, 2018). La agricultura en el país se realiza en pequeña escala y no se encuentra tecnificada, y las aguas servidas se utilizan mayoritariamente de forma indirecta (FAO, 2017).

## 4.2. Experiencia Nacional

En Chile no está prohibido el reúso de aguas servidas tratadas, no obstante, no ha sido una práctica formal regulada (Fundación Chile, 2018). Recién en el año 2020 se comenzaron a promulgar un conjunto de nuevas normativas sobre el reúso de aguas servidas tratadas para proyectos de riego.

Los casos de reúso de aguas servidas tratadas en el país se concentran desde la zona central al norte, especialmente en zonas mineras, industriales y agrícolas. Para regular el reúso de las aguas servidas tratadas la SISS solicita a las empresas sanitarias informar sobre el cuerpo receptor de los efluentes de las PTAS y, en este contexto, se presentan opciones de disposición como el riego, con un caudal al año 2020 de 0,33 m<sup>3</sup>/s entregado de forma directa desde la planta de tratamiento.

En la Tabla 4.2 se presentan los casos observados de reúso, incluyendo mineros, industriales y otros.

Tabla 4.2: Casos observados de reúso de aguas servidas tratadas. Fuente: Adaptado de Zamorano, 2021 y Datos SISS, 2020.

Región	Casos observados de reutilización de aguas servidas tratadas
Arica y Parinacota	-
Tarapacá	Pica, Huara, La Tirana, Pozo Almonte
Antofagasta	Calama, Antofagasta, Sierra Gorda, Baquedán, San Pedro del Coloso
Atacama	Copiapó, Caldera, Diego de Almagro, Tierra Amarilla
Coquimbo	Punitaqui, Guanaqueros, Tongoy El Peñon, Paihuano, Pichidangui
Valparaíso	La Laguna, Cachagua, Los Molles Tiltil, La Farfana, Hacienda Batuco, La Cadellada,
RM Metropolitana	Trachisa, Sepra, La Cadellada, Explotaciones Sanitarias, Estación Buin, Jardines de La Estación

Actualmente, la SISS no cuenta con un registro detallado de los proyectos de reúso de aguas servidas por parte de las sanitarias, por lo que el 19 de agosto del 2021 se promulgó el oficio 2285 que instruye informar entrega/venta aguas servidas tratadas a terceros y/o reúso interno por parte de las empresas sanitarias a la superintendencia.

#### 4.2.1. Región de Tarapacá

En la región se identifican 4 PTAS que reúsan la totalidad del caudal para riego en la zona, estas son: PTAS de Pica con un caudal de 0,007 m<sup>3</sup>/s, Huara con 0,002 m<sup>3</sup>/s, La Tirana con 0,001 m<sup>3</sup>/s y Pozo Almonte con 0,016 m<sup>3</sup>/s pertenecientes a la empresa de servicios sanitarios Aguas del Altiplano S.A., es decir, un caudal total de 0.026 m<sup>3</sup>/s (Datos SISS, 2020).

#### 4.2.2. Región de Antofagasta

Dentro de las iniciativas de reúso en la región de Antofagasta se encuentra la del sector industrial La Negra, donde se destina un caudal aproximado de 100 l/s de las aguas servidas tratadas para procesos industriales y 20 l/s para uso agrícola y riego de áreas verdes, aguas provenientes de la planta de tratamiento de lodos activados de la ciudad (Rodríguez et al., 2015).

Otro caso en la región es Calama, donde la empresa Tratacal S.A. reúsa agua servida tratada para riego agrícola. Dentro de este contexto ECONSSA ha informado que solo el 10 % de las aguas servidas tratadas es reusada en industria, mientras que el 4 % se destina a riego de áreas verdes y agricultura (ARCADIS, 2016). El caudal destinado para riego agrícola es de 50 l/s, aportados por Codelco (28 l/s) y por la empresa Tratacal S.A. que realiza el tratamiento (22 l/s) (Rodríguez et al., 2015). De forma más específica, las PTAS de las localidades de Sierra Gorda con un caudal de 0,002 m<sup>3</sup>/s y Baquedano con 0,001 m<sup>3</sup>/s (perteneciente a la empresa

sanitaria Aguas Antofagasta S.A.), y San Pedro del Coloso con 0,001 m<sup>3</sup>/s (perteneciente a la empresa sanitaria ECONSSA) entregan la totalidad del caudal de aguas servidas tratadas de forma directa para riego de la zona, el cual es de 0.004 m<sup>3</sup>/s (Datos SISS, 2020)

Actualmente, se está realizando el proyecto llamado “Nueva planta de tratamiento de agua servida para reúso de Antofagasta” cuyo objetivo es disminuir descargas hacia el emisario submarino (capacidad máxima actual de descarga de 1.500 l/s) y reutilizar el recurso hídrico en el sector industrial (ECONSSA S.A., 2019). La construcción de esta nuevas PTAS será en el sector industrial de Salar del Carmen-La Negra y contempla una capacidad de tratamiento total de 900 l/s mediante tecnologías de lodos activados y desinfección, disminuyendo la descarga efectuada por el emisario submarino (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), 2020).

Dentro de los estudios realizados en la región se encuentra el realizado por el Centro de Investigación Tecnológica del Agua en el Desierto entre los años 2010 y 2012, que consiste en el desarrollo de tecnología para producción de agua con calidad industrial para minería metálica a partir de agua secundaria (ECONSSA S.A., 2013). Otro estudio es el informe elaborado por ECONSSA en el año 2013 llamado “Sistema de disposición final de las aguas servidas de Antofagasta” donde se realiza un análisis del reúso de aguas servidas tratadas en la región desde el sector agrícola hasta el industrial y minero. Para ello, se examina la demanda, potencialidad, tecnologías de tratamiento, criterios de diseño, las alternativas de desarrollo y uso, y análisis económico de las aguas servidas tratadas. De esta forma, se analizaron 12 proyectos con distintas alternativas según los parámetros mencionados, concluyendo que aumentarían las tarifas de disposición de aguas servidas, pero entregaría una mayor disponibilidad de agua para riego y otros usos, además de beneficios producto de la disminución de requerimiento de aguas para diferentes usos, aligerando la presión de utilización de agua fresca.

### **4.2.3. Región de Atacama**

En el año 2008 la empresa sanitaria Aguas Chañar S.A. concretó ventas de aguas servidas tratadas a la Minera Candelaria por un caudal de 175 L/s proveniente de la PTAS de Copiapó, lo cual fue aprobado por la comisión regional del medio ambiente de Atacama (CONEMA). Estas aguas son conducidas desde la planta de tratamiento de Aguas Chañar hasta un estanque de acumulación en el sector de Bodega, para su posterior bombeo e impulsión hasta la planta de procesos de la minera (ECONSSA S.A., 2013). De acuerdo a la resolución de calificación ambiental 133 del año 2015 la Minera Candelaria se comprometió a dejar de utilizar paulatinamente las aguas servidas tratadas de la PTAS y suplir el suministro hídrico con aguas provenientes de su propia planta desaladora ubicada en Puerto Punta Padrones, comuna de Caldera (Superintendencia del Medio Ambiente, 2018).

### **4.2.4. Región de Coquimbo**

El proyecto de Fundación Chile llamado “Claves para la gestión de aguas residuales: Primera planta de reúso de aguas tratadas en la región de Coquimbo, una experiencia replicable” se realiza bajo la idea de profundizar el análisis desarrollado en la región de Valparaíso en año

2016 por la misma fundación.

Para la realización de esta iniciativa se escogió la planta tratamiento de aguas servidas de tratamiento secundario de lodos activados construida en el año 2005 y administrada por el Comité de Agua Potable Rural (APR) del sector. Ubicada en la localidad de Cerrillos de Tamaya en la localidad de Tamaya, provincia de Limarí, fue escogida dado un análisis de demanda hídrica, estrés hídrico y PTAS de la zona. Esta planta utiliza un terreno aproximado de 1.000 m<sup>2</sup> y genera un caudal de aguas servidas tratadas constante de aproximadamente 6 l/s, el cual será conducido a un tranque de acumulación con capacidad de 3.000 m<sup>3</sup> a 50 metros de la PTAS.

Se seleccionó la producción de alfalfa, dado que es un cultivo de rápida producción y bajo costo, y de consumo animal. Para el riego se eligió un sistema de aspersión, método de gran poder operacional ya que permite controlar la demanda de agua máxima para riego, el coeficiente de cultivo y la eficiencia de aplicación. La superficie de riego será de 6 hectáreas de cultivo de alfalfa con el sistema de riego por aspersión, en cada evento de riego se requerirá aplicar 123,45 m<sup>3</sup> por sector por un tiempo de riego de 4 horas con 34 minutos.

Además, se estimó una buena factibilidad económica tanto en cultivos de baja rentabilidad como la alfalfa y alta rentabilidad como la palta. Por lo tanto, la experiencia proyecta beneficios para reutilizar aguas servidas tratadas en riego de cultivos, además de servir como experiencia para el país y futuros proyectos.

En la región son cinco las PTAS que reúsan sus aguas directamente en riego: Guanaqueros con un caudal de 0,005 m<sup>3</sup>/s, Tongoy con 0,014 m<sup>3</sup>/s, El Peñón con 0,001 m<sup>3</sup>/s y Paihuano con 0,002 m<sup>3</sup>/s (pertenecientes a la empresa sanitarias Aguas del Valle S.A.), y Pichidanguí con 0,001 m<sup>3</sup>/s (perteneciente a la empresa de servicios sanitarios San Isidro S.A.), lo que genera un total de 0,024 m<sup>3</sup>/s para riego de la zona.

#### **4.2.5. Región de Valparaíso**

El proyecto llamado “Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales tratadas en la región de Valparaíso” elaborado por Fundación Chile y financiado por el Gobierno Regional de Valparaíso, fue realizado en el año 2016 con el fin de identificar los beneficios y factibilidad del reúso de aguas servidas tratadas a nivel regional, con vistas a posibles proyectos a nivel país dada la importancia de la administración del recurso de forma eficiente y la situación de escasez hídrica nacional .

El estudio se realizó en la región de Valparaíso dada la crisis hídrica y potencial de reúso que presenta, ya que es la región que posee la mayor cantidad de aguas residuales disponibles por emisarios submarinos en el país, con un caudal de 2,6 m<sup>3</sup>/s, según la información obtenida por ESVAL del año 2014. Para el proyecto se elaboró un modelo conceptual para el reúso y distribución de las aguas, el cual consideró:

- Fuente de aguas residuales (Emisarios submarinos)
- Conducción

- Tratamiento requerido (calidad de las aguas), construcción e implementación de una PTAS, no especificada en el estudio
- Conducción hacia el sistema de almacenamiento (embalses)
- Distribución final a los sectores que demandarán las aguas

Para ello se analizaron 3 escenarios de reúso, según las provincias seleccionadas (Casablanca, Quillota y Petorca).

Para el caso de Casablanca, que se destaca por el cultivo de uvas para la industria vinícola, el consumo de agua en esta zona sobrepasa la oferta, aún teniendo una tecnología de riego más eficiente que otras provincias agrícolas. La propuesta para este escenario contempla:

- Uso de aguas residuales descargadas de cuatro emisarios submarinos: Algarrobo, El Tabo, Cartagena y San Antonio ( $0,44 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- Dada la necesidad de tratamiento adicional (actualmente solo pretratamiento para los emisarios), se requiere la construcción de PTAS.
- Conducción de 87 kilómetros por tuberías instaladas en la franja adyacente de las carreteras.
- Almacenamiento en Embalse Lo Ovalle.
- Distribución a los potenciales usuarios

Para este escenario se cuenta con una infraestructura hidráulica de  $42 \text{ MMm}^3$  del embalse Lo Ovalle, la cual es suficiente para la acumulación de los  $13,8 \text{ MMm}^3$  que se requerirían contener por año. La propuesta permitiría suplir cerca del 15,8% de la demanda hídrica del sector agrícola de la provincia. Respecto a los costos del sistema en la zona, se concluye que son razonables y competitivos.

Para el caso de Quillota, donde se destaca el cultivo de palta, el sobreconsumo y deterioro progresivo de las fuentes de aguas subterráneas ha llevado a un complejo escenario hídrico en la zona, más aún teniendo un riego no tan tecnificado como el de Casablanca. Para ello la propuesta consiste en:

- Uso de aguas residuales descargadas del emisario submarino Loma Larga ( $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ),
- Dada la necesidad de tratamiento adicional (actualmente solo pretratamiento para los emisarios), se requiere la construcción de PTAS.
- Conducción de 43 kilómetros desde el emisario hasta el embalse.
- Almacenamiento en Embalse Los Alomos.
- Distribución a los potenciales usuarios.

Para este escenario se requieren almacenar 34,6 MMm<sup>3</sup>, pero la infraestructura no es suficiente, por lo que se considera la conducción hacia el embalse Los Alomos. La propuesta permitiría suplir cerca del 25 % de la demanda hídrica del sector agrícola de la provincia. Con respecto a los costos del sistema en la zona, se concluye que son razonables y competitivos.

Para el caso de Petorca, que por efecto de la sequía cambió sus cultivos a quínoa, que requiere mínima humedad para mantenerse, la propuesta contempla:

- Uso de aguas residuales provenientes del emisario Loma Larga (1,1 m<sup>3</sup>/s), al igual que el caso de Quillota.
- Dada la necesidad de tratamiento adicional (actualmente solo pretratamiento para los emisarios), se requiere la construcción de PTAS.
- Conducción de 174 kilómetros desde el emisario hasta el embalse
- Almacenamiento en embalse Las Palmas.
- Distribución a los potenciales usuarios.

Para este caso se requiere un almacenamiento de 34,6 MMm<sup>3</sup>, pero no se cuenta con la infraestructura necesaria para almacenar el agua servida tratada, por lo cual se planea utilizar el embalse Las Palmas, proyectado en el plan de grandes embalses de la DOH, con una capacidad de 55 MMm<sup>3</sup>. La propuesta permitiría suplir cerca del 31,2 % de la demanda hídrica del sector agrícola de la provincia. Con respecto a los costos, se presentarían problemas de ejecución a largo plazo, dado que la distancia para el desarrollo de esta propuesta la distancia encarece el proyecto.

Dentro de las conclusiones más importantes se encuentra que el uso total de las aguas residuales tratadas lograría abastecer al menos un tercio de la necesidad hídrica regional de los principales sectores productivos de la región. Además, tendría un impacto en el PIB regional de hasta un 13 % y generación de hasta 83 mil puestos de trabajo.

En la región, la PTAS Los Molles, perteneciente a la empresa de servicios sanitarios San Isidro S.A., reúsa la totalidad del caudal de 0,001 m<sup>3</sup>/s en riego de la zona (Datos SISS, 2020).

#### **4.2.6. Región Metropolitana**

Por parte de la Comisión Nacional de Riego en el año 1998 se desarrolló el “Estudio integral de riego, proyecto de aprovechamiento de aguas servidas planta de tratamiento Santiago Sur, región Metropolitana”. Este estudio denominado como el primer proyecto, analiza la reutilización de aguas servidas tratadas para la agricultura en el valle del estero Puangue, en las comunas de Curacaví y María Pinto. En esta investigación se buscó la formulación de un programa de desarrollo basado en el uso racional proveniente de la planta Santiago Sur, de la empresa EMOS. Dentro de los casos propuestos en el estudio se concluyó que existía un caso socialmente rentable, el cual consideraba un área de 3.446 hectáreas, de las cuales 623 estaban ubicadas en la zona de Lo Prado - Miraflores - Curacaví y 2.823 hectáreas en María Pinto.

Aguas Andinas entrega desde PTAS La Farfana aguas servidas tratadas a canalistas de la zona, específicamente a regantes del Canal Rinconada, lo cual se realiza en consideración a la RCA 458/2001, en la cual COREMA consideró como favorable la construcción y ejecución de obras para conducir un caudal de 1,5 m<sup>3</sup>/s de aguas servidas tratadas al Canal Rinconada (Aguas Andinas, 2003), el cual fue cumplido a cabalidad el 12 de abril de 2013 con la firma de un acuerdo notarial entre regantes del canal y Aguas Andinas, donde se establece un caudal máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/s el que dependerá de los requerimientos definidos planificadamente por los canalistas (Aguas Andinas, 2013a, 2020a). Al año 2013 se entregaba un caudal de 27.871.332 m<sup>3</sup> a los canalistas, el cual fue aumentando progresivamente hasta un caudal de 37.179.734 m<sup>3</sup> al año 2020 (Aguas Andinas, 2013b, 2020b).

También, el reporte Integrado del 2019 de Aguas Andinas se puso en marcha el reúso de aguas servidas tratadas mediante el suministro de 100 l/s por parte de la planta La Farfana a Angloamerican, para las operaciones en el sector de Colina. La cantidad de aguas recicladas y reutilizadas de los últimos años por Aguas Andinas se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Agua reutilizada. Fuente: Aguas Andinas, 2020.

<b>Captación de aguas servidas</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Captación total de agua	m <sup>3</sup> /año	580.815.395	560.184.705	541.990.447	531.781.187	508.723.363
Volumen de agua reutilizada	m <sup>3</sup> /año	3.451.922	3.861.308	3.783.659	41.299.356	44.584.042
Porcentaje de agua reutilizada	%	0,59 %	0,69 %	0,70 %	7,77 %	8,76 %

Además, se identifican las PTAS de: La Cadellada con un caudal de 0,256 m<sup>3</sup>/s (perteneciente a la empresa sanitaria Sacyr Agua Chacabuco S.A.), Estación Buin con 0,015 m<sup>3</sup>/s (perteneciente a la empresa sanitaria Aguas San Pedro S.A.) y Jardines de La Estación con 0,0012 m<sup>3</sup>/s (perteneciente a la empresa sanitaria Servicios Sanitarios de La Estación S.A.), las cuales entregan la totalidad de su caudal para riego de la zona, esto es un total de 0.273 m<sup>3</sup>/s (Datos SISS, 2020).

# Capítulo 5

## Factibilidad Legal

### 5.1. 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 la misma, 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, aún 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, deben estar bajo la fiscalización por parte de la Dirección General de Aguas (DGA), la cual debe estar, en teoría, en conocimiento de los caudales de uso, el uso o no uso del caudal, la cantidad necesaria para la asignación de los derechos y el cumplimiento de caudal ecológico de la fuente de agua.

No obstante lo anterior, actualmente se está realizando una reforma al Código de Aguas pasando a tercer trámite constitucional en la Cámara de diputados en agosto del 2021. Entre las reformas se encuentran: la reafirmación de las aguas como bienes nacionales de uso público y debilitación del concepto de propiedad de las aguas, se constituirán en función al interés público (destacando el acceso a agua potable y saneamiento como un derecho humano esencial e irrenunciable que debe ser garantizado por el Estado), uso y goce temporal para los nuevos derechos de aprovechamiento de aguas (temporalidad de concesión de 30 años), caducidad parcial o total de los derechos de aprovechamiento de aguas si no se acredita el uso efectivo del recurso, todo cambio en el uso de las aguas otorgadas deberá ser informado a la Dirección General de Aguas (DGA), entre otros.

Por lo tanto, queda establecido, dentro del marco legal, que las aguas deben ser utilizadas conforme a los derechos de aprovechamiento otorgados siendo considerados como propiedad del titular, el cual puede disponer de este según vea conveniente ante lo presentado a la Dirección General de Aguas. Finalmente, dentro de los prospectos por parte del Código de Aguas, los derechos de aprovechamientos se puede considerar como un bien económico, en el cual si existe disponibilidad de ellos (sin afectar el ecosistema o ambiente natural) se puede rematar por parte del Estado, además de que se pueden transar en un mercado de derechos de aprovechamiento de aguas por parte de los propietarios bajo el derecho propiedad y perpetuidad que recae sobre ellos como un bien del usuario.

## **5.2. 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 se establecen 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 alguno de los siguientes servicios públicos: la producción y distribución de agua potable, y 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.

### **5.3. 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 tiene 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 mejoración 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. (...)”*

Por otro lado, se debe considerar la jurisprudencia asociada al tema, la cual es muy escasa y se pueden distinguir los siguientes casos (todos anteriores al oficio n° 2725 del 2011) (Vergara Blanco, 2020):

1. **Caso Salas con ESSAN (1996)**: el cual surge a partir de un llamado a licitación pública internacional realizado por ESSAN S.A. para disponer las aguas servidas de la ciudad de Calama, por lo que un particular interpuso un recurso de protección argumentando ser dueño de un derecho aprovechamiento de las aguas superficiales de la Quebrada de Quetena. Cuyo recurso fue acogido bajo las siguientes consideraciones: la Corte Suprema señala que las pretensiones de ESSAN S.A. constituyen una grave perturbación o amenaza al derecho de aprovechamiento del titular, el artículo 61 de LGSS no puede significar un derecho de aprovechamiento y que en base al mismo artículo se puede entender que se realiza derrame de las aguas servidas por parte de las empresas sanitarias, cuando se evacuan de sus redes o instalaciones o si se confunde con las aguas de un cauce de natural o artificial (Vergara Blanco, 2020).
2. **Caso Salas con MOP (1998)**: este caso se presenta como continuación del caso anterior, en el cual se presenta un nuevo recurso de protección, pero ahora contra el Ministerio de Obras Públicas sosteniendo que se habrían visto afectados sus derechos con la dictación del Decreto Supremo N° 1.096, de 30 de diciembre de 1996. Dicho recurso fue rechazado por la Corte de Apelaciones de Santiago y cuyo fallo fue confirmado por la Corte Suprema, cuyo análisis concluye que: la constitución de los derrames, se realiza cuando las concesionarias abandonan voluntariamente las aguas servidas, por lo que se puede inferir que dicho acto no es obligatorio ni permanente (Vergara Blanco, 2020).
3. **Caso Junta de Vigilancia con Superintendencia de Servicios Sanitarios (2011)**: este caso surge a partir de una demanda interpuesta por parte de diversos usuarios del agua de la última sección del río Mapocho (Junta de Vigilancia de la Última Sección del Río Mapocho, Asociación de Canalistas del Canal Bajo Esperanza y Asociación Canal de Mallarauco) contra la SISS, la cual consistía en una demanda como juicio ordinario de la nulidad de oficios que contenían la afirmación del derecho de propiedad de las empresas sanitarias sobre de las aguas servidas por parte de la SISS. Donde el ente aludido contestó que dichos oficios contenían un mero parecer de la autoridad sin conceder derecho alguno sobre las aguas. La Corte Suprema el año 2004 acogió lo pedido con respecto a la nulidad de los oficios. Sin embargo, en el año 2008 la Corte de Apelaciones de Santiago revocó dicho fallo dejándola íntegramente rechazado y, finalmente, el caso judicial fue resuelto por la Corte Suprema en el año 2011, lo que confirmó la facultad interpretativa de la legislación de los servicios sanitarios por parte la SISS, pero no se abordó en la problemática del dominio de las aguas (Vergara Blanco, 2020; Confederación de Canalistas Chile, 2011; Díaz De Valdés Balbontín, 2015).

Y por último, dentro del marco tarifario, las tarifas asociadas a los servicios entregados por las empresas sanitarias están normados por el DFL n° 70 del año 1988 conocida como Ley de Tarifas. Esta ley especifica en el artículo 6 que *“Para determinar las tarifas que establece este*

*Título, se calculará separadamente las correspondiente a las diversas etapas del servicio sanitario, esto es, producción de agua potable, distribución de agua potable, recolección de aguas servidas y disposición de aguas servidas. Las tarifas se calcularán considerando los costos de los sistemas correspondientes a las diversas etapas del servicio sanitario, optimizando el uso de los recursos. (...)* detallando todos los procesos por los cuales se les cobrará a los clientes de dichos servicios.

Presentado lo anterior, el uso de las aguas servidas tratadas para venta u otra práctica se considera como un servicio no regulado, ya que se presenta como subproducto de la etapa de tratamiento de aguas servidas del servicio sanitario. Estos servicios no regulados tienen presencia en el DFL n°70, donde en el artículo 8 señala: “(...) Sin perjuicio de lo anterior si por razones de indivisibilidad de proyectos de expansión, éstos permitieran también satisfacer, total o parcialmente, demandas previstas de servicios no regulados que efectúe el prestador, se deberá considerar sólo una fracción de los costos correspondientes, para efectos del cálculo de las tarifas. Dicha fracción se determinará en concordancia con la proporción en que sean utilizados los activos del proyecto por los servicios regulados y no regulados. (...)”, entendiendo que el beneficio tarifario obtenido de los servicios no regulados nacen a raíz de los servicios regulados pagados por el cliente, por lo cual también deben formar parte de la ganancia de los mismos, en este caso en forma de descuento de los pagos del servicio sanitario. La fórmula tarifaria que considera los descuento por la provisión de los servicios no regulados hace que la firma obtenga un 50% del margen del servicio no regulado

Por lo tanto, ya presentados estos conceptos y para comprender en plenitud el alcance del conflicto del dominio de las aguas servidas, dada la falta de claridad y normativa expresa sobre el tema, es necesario analizar la postura de los diferentes entes involucrados como ente fiscalizador (SISS), las empresas sanitarias, los canalistas o usuarios del agua y clientes de las empresas sanitarias, a lo largo de los años.

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

La propiedad de las aguas servidas, tratadas o no, se ha analizado en el tiempo a través de interpretaciones del concepto de derrames y el marco legal que lo rodea, donde la Superintendencia ha sido parte de ello con posturas que se han ido ajustando en la búsqueda de una posición adecuada en su labor de organismo normativo y fiscalizador sobre las empresas sanitarias.

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

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 los servicios recibir los servicios sanitarios en las zonas de concesión, con un precio justo y que el agua una vez utilizada el sea dispuesta de forma compatible a un desarrollo sustentable, se presentan a continuación una subpostura referente a las obligaciones y expectativas de los clientes sobre los servicios sanitarios, que la SISS debe asegurar.

### 5.3.1.1. 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 a 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.

### 5.3.2. 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; 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 convertirlos 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 de el agua potable) y las empresas sanitarias adquieren por ocupación con el deber de disponerlo responsablemente (Ortega, 2021; Peralta 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; Vergara Blanco, 2020). Así, se presenta como una práctica administrativa concreta al reconocimientos 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 las mismas 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; 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; Vergara Blanco, 2020).

### 5.3.3. Posición de los Canalistas/Regantes - Usuarios del agua

Para comprender la postura presentada por los canalistas, es necesario comprender la mirada histórica que los respalda. Lo cual se puede identificar desde la época colonial, donde se tenían diversos sistemas de disposición de aguas servidas, ya sea pozos sépticos o descarga a canales y ríos, cuyas aguas eran vertidas sin ningún tipo de tratamiento y eran utilizadas aguas abajo del punto de descarga.

La entrega de derechos de aguas otorgado por el Estado en cuerpo superficiales, especialmente en ríos y canales, llevó a la creación de diversas asociaciones de canalistas a lo largo del país, cuyo objetivo es tomar las aguas del caudal matriz, repartirlas entre los titulares de derechos, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueductos y otras que sean necesarias para su aprovechamiento, según lo expresado en el artículo 186 del Código de Aguas.

En los cauces donde se encontraban estos derechos de aprovechamiento de estos usuarios, también se vertían las aguas servidas crudas, cuya descarga, al no tener ningún tipo de tratamiento, contaminaba el total de las aguas, provocando grandes problemas de sanidad, y por ende, enfermedades como tífus, cóleras, hepatitis, entre otras, ya que eran utilizadas por regantes, agricultores en sus cultivos y otros usuarios del agua para diversos fines. Por lo tanto, bajo esta problemática, como se mencionó anteriormente, el Estado comenzó con políticas de descontaminación, como la masificación del tratamiento de aguas servidas y normas de emisión a los cauces de aguas (Peralta, 2021).

Por lo tanto, con el objetivo de asegurar el cauce público limpio de contaminación y eliminar los problemas mencionados, se les solicitó a las empresas informar el punto de descargas de las aguas servidas tratadas, ya que dicho lugar deberá ser fiscalizado para garantizar el cumplimiento de la emisión bajo los estándares del DS90/2000. Es decir, devolver las aguas manteniendo un entorno limpio, para que las aguas que sean utilizadas posteriormente por los distintos usuarios del agua no generen los problemas mencionados. Además, las aguas provenientes de las PTAS y que son depositadas a cauces donde existen derechos de aprovechamiento de aguas constituidos forman parte de una política de Estado, ya que se generó en el conocimiento de la generación de un aumento del caudal de la fuente receptora.

Queda mencionar que los usuarios del agua disponían de estas aguas antes y después de la creación de las PTAS y los derechos de aprovechamiento de aguas también se han ejercido con anterioridad, por lo que las políticas realizadas fueron en base a dicha premisa de utilización (Peralta, 2021).

En este contexto, para estos usuarios el argumento de propiedad de las aguas servidas se basa en que la restitución de dichas aguas a los cauces naturales abastecen en parte los derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos que poseen (CNR, 2004). Por otro lado, la concesión otorgada incluyó la obligación de verter las aguas servidas en un punto específico, con el fin de cumplir con las condiciones de reponer caudales y que puedan ser captados aguas abajo

por dueños de derechos de aprovechamiento (AIDIS, 2016). En el caso de que se vendieran las aguas servidas, los actuales dueños verían disminuidos sus caudales en proporción al agua vendida, lo cual constituiría a un acto contrario al derecho de propiedad y enriquecimiento ilícito por parte de la concesionaria y tarificar las actividades relacionadas a la reutilización de aguas servidas no sería un acto competente a las empresas sanitarias, ya que los legítimos dueños de estas aguas serían los mismo que tienen dominio de los derechos de aprovechamiento de aguas del cauce (AIDIS, 2016; CNR, 2004).

También, el Ministerio de Agricultura, entregó su parecer respecto el tema, en el cual sostiene que las empresas sanitarias no pueden producir derrames, ya que no poseen el título de derecho de aprovechamiento sobre las aguas el cual se agotó con su uso al entregarlo al usuario, como se explica en la posición de las empresas sanitarias (Ortega, 2021) y, por ello, no se puede constituir jurídicamente un derrame. Por lo tanto, las empresas sanitarias no tienen ningún derecho sobre las aguas y solo actúan como una mera tenedora temporal de las aguas, que al hacer abandono de ellas no genera un derrame. Además, defiende que los derechos de agua de los regantes comprenden los provenientes de aguas servidas, y por ende, no pueden ser privados de los mismo sin un acto legal que lo sustente. Por último, afirma que las empresas sanitarias tiene la obligación de restituir las aguas servidas en un punto de descarga que no afecte los derechos de los regantes (CNR, 2004).

Dentro del conflicto legal se pueden apreciar diversos conflictos entre los canalistas y los diferentes entes involucrados como el relacionado con la venta de las aguas servidas tratadas producidas por la planta de tratamiento La Farfana. Los canalistas afectados comenzaron a debatir sobre la propiedad de las aguas, sin embargo, el Canal de Las Mercedes abarcó la problemática desde otra mirada, alegando un importante daño ambiental provocado por la falta de agua que afectaba directamente al sector de María Pinto (Confederación de Canalistas Chile, 2008).

En la Resolución exenta N° 458 del 2001, se calificó como favorable, por parte de la COREMA, lo referido en la calificación ambiental del proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana”, con lo cual fue aprobado la descarga de aguas servidas tratadas en un punto específico aguas arriba del Zanjón de la Aguada para no afectar la situación de los canales Las Mercedes y Esperanza Alto. Sin embargo, dicha descarga perjudicaría al Canal Rinconada, que no dispondría de dichas aguas para riego, es por ello que se adoptó una medida de mitigación al respecto, entregando un caudal de hasta 1,5 m<sup>3</sup>/s al canal afectado (CNR, 2004).

## **5.4. 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

# Capítulo 6

## Tratamiento Requerido

### 6.1. Caracterización de las aguas servidas

Para el análisis del tratamiento requerido de las aguas servidas para reuso en riego, es necesario conocer la caracterización de las aguas sin tratamiento previo, y así identificar las diferencias post tratamientos, especialmente en parámetros claves como coliformes fecales, sólidos disueltos, entre otros. En la Tabla 6.1 se presenta la caracterización de las aguas servidas domésticas con los principales parámetros a evaluar y categorización de las aguas (baja, media y fuerte), en las cuales Chile entra en la categoría de aguas servidas fuertes.

Tabla 6.1: Caracterización de las aguas servidas (Metcalf y Eddy, 2004).

Parámetro	Unidad	Baja	Media	Alta
Sólidos Totales (ST)	mg/l	390	720	1230
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/l	270	500	860
Fijos	mg/l	160	300	520
Volátiles	mg/l	110	200	340
Sólidos Suspendidos	mg/l	120	210	400
Fijos	mg/l	25	50	85
Volátiles	mg/l	95	160	315
Sólidos Sedimentables	mg/l	5	10	20
DBO5	ml/l	110	190	350
COT	mg/l	80	140	260
DQO	mg/l	250	430	800
Nitrógeno Total	mg/l	20	40	70
N-orgánico	mg/l	8	15	25
N-amoniacal	mg/l	12	25	45
N-NO2	mg/l	0	0	0
N-NO3	mg/l	0	0	0
Fósforo Total	mg/l	4	7	12
P orgánico	mg/l	1	2	4
P inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	90
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Aceites y Grasas	mg/l	50	90	100
Comp. Org. Volátiles	mg/l	<100	100-400	>400
Coliformes Totates	NMP/100ml	$10^6 - 10^8$	$10^7 - 10^9$	$10^7 - 10^{10}$
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$10^3 - 10^5$	$10^4 - 10^6$	$10^5 - 10^8$

Además, para conocer el incremento de minerales en las aguas servidas se presenta la tabla 6.2 con los parámetros asociados tras una utilización doméstica.

Tabla 6.2: Incrementos típicos de la concentración de minerales debido a los usos domésticos del agua (Metcalf y Eddy, 2004).

<b>Parámetro</b>	<b>Incremento mg/l</b>
<b>Aniones</b>	
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	50 – 100
Carbonato (CO <sub>3</sub> )	0 – 10
Cloruro (Cl)	25 – 50
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	15 - 30
<b>Cationes</b>	
Calcio (Ca)	6 – 16
Magnesio (Mg)	4 – 10
Potasio (K)	7 – 15
Sodio (Na)	40 - 70
<b>Otros Componentes</b>	
Aluminio (Al)	0,1 – 0,2
Boro (B)	0,1 – 0,4
Fierro (Fe)	0,2 – 0,4
Manganeso (Mn)	0,2 – 0,4
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	2 – 10
Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> )	60 – 120
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	150 – 380

## 6.2. Tratamiento de las aguas servidas

Dado los contaminantes, incrementos en los nutrientes, minerales y otros parámetros de las aguas servidas, el uso de plantas de tratamientos se hace indispensable para la eliminación de estos contaminantes y patógenos que contienen las aguas. Estas plantas de tratamiento tienen distintos sistemas de depuración, los cuales entregan diversos niveles de calidad para las aguas. A continuación se presenta una breve descripción del tipo de tratamientos con el cual se pueden reusar las aguas servidas y los sistemas de tratamientos más comunes.

- Pretratamiento: aguas servidas con baja calidad, por lo cual el reúso no es recomendado.
  - Pozo de gruesos
  - Aliviadores de tormentas
  - Rejas
  - Desengrasador
  - Desarenador
- Primarios: aguas servidas con baja calidad, por lo cual el reúso no es recomendado.

- Lagunas de sedimentación
  - Tanque séptico
  - Estanques sedimentadores
- Secundarios: aguas servidas con calidad apta para reuso en riego superficial de huertos y viñedos, riego de cultivos no alimentarios, embalses de jardines restringidos, recarga de agua subterránea de un acuífero no potable, humedales, hábitat de vida silvestre, aumento de arroyos y procesos de enfriamiento industrial
    - Humedales
    - Biofiltros
    - Membranas
    - Lodos activados
  - Filtración y desinfección: aguas servidas con calidad apta para reuso en riego de jardines y campos de golf, descarga del inodoro, en lavado de vehículos, riego de cultivos alimentarios, embalse recreativo irrestricto y sistemas industriales
  - Avanzado: Aguas servidas con calidad apta para reutilización indirecta de agua potable, incluida la recarga de agua subterránea del acuífero potable y el aumento del depósito de agua superficial y la reutilización de agua potable.
    - Radiación ultravioleta
    - Intercambio Iónico
    - Ósmosis inversa
    - Carbón activado
    - Oxidación avanzada

También, en la Tabla 6.3 se presentan las características de remoción y aplicación de los diferentes tipos de tratamiento.

Tabla 6.3: Características de los principales niveles de tratamiento (Silva et al. 2008).

Item	Nivel de tratamiento			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
Contaminantes removidos	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes patógenos (principalmente)
Eficiencias de remoción	DBO: 0-5 % Coliformes = 0 % Nutrientes = 0 %	SS: 60-70 % DBO: 30-40 % Coliformes: 30-40 % Nutrientes: < 20 %	SS: 60-99 % DBO: 60-99 % Coliformes: 60-99 % Nutrientes: 10-50 %	SS: > 99 % DBO: > 99 % Coliformes: > 99,9 % Nutrientes: > 90 %
Mecanismo predominante	Físico	Físico	Biológico o químico	Biológico o químico
Cumple patrón de reuso	No	No	Usualmente sí	Sí
Aplicación	Aguas arriba de estaciones de bombeo Etapa inicial del tratamiento Indispensable Independiente de la complejidad del tratamiento y del uso del efluente (vertimiento o reuso agrícola)	Tratamiento parcial Etapa intermedia de tratamiento. Su uso depende del tipo de tratamiento posterior. Recomendable en reuso para evitar obstrucción de los sistemas de riego	Tratamiento más completo para remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos Para nutrientes con adaptaciones o inclusión de etapas específicas (parcialmente) Adecuada para aplicación en riego (con desinfección)	Tratamiento completo para remoción de material no biodegradables y disuelto Remoción de nutrientes y coliformes Principalmente, para la remoción de patógenos Sin restricción de uso para cualquier tipo de cultivo

## **6.3. Calidad y normativa referentes a las aguas servidas**

Como ya se mencionó, la calidad de las aguas servidas dependen del tratamiento realizado, por lo que es necesario conocer la calidad mínima descarga por las plantas de tratamiento que es exigida según las leyes del país, y así evaluar los tratamientos que se deben adicionar para alcanzar la calidad deseada según su reúso planeado.

Para obtener la calidad necesaria para los distintos tipos de reúso, se analizará la normativa referente a la calidad actual de las aguas servidas que son descargadas en los diferentes cuerpos de aguas, a través de normas de emisión y calidad. Y posteriormente, normativas que contienen la calidad necesaria para ser reutilizadas en riego, en las cuales se incluyen directrices para proyectos de riego.

### **6.3.1. Normativas de emisión y calidad**

Las normas de emisión tienen como objetivo establecer límites máximos permitidos en la descarga de diferentes parámetros al medio ambiente. En este sentido, para las descargas de aguas servidas se deben cumplir con el decreto supremo 90/2000 para descarga en cuerpos de aguas marítimos y continentales superficiales, el decreto supremo 46/2002 para aguas subterráneas y el decreto supremo 38/2012 incluyendo normas de calidad ambiental primarias y secundarias, para cuerpos de aguas específicos.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y los servicios de Salud serán los encargados de fiscalizar y sancionar, si es necesario, a las empresas que descarguen sus residuos líquidos, como las aguas servidas, en cuerpos de aguas continentales. Por otra parte, si la descarga ocurre en cuerpos marítimos, como se realiza con los emisarios submarinos, autoridades marítimas como la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante se incluyen como entidades de fiscalización.

#### **6.3.1.1. Decreto Supremo 90**

Para asegurar la calidad de las aguas servidas vertidas en el medio ambiente, se promulgó el decreto supremo 90/2000 el cual establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. En ella se contemplan distintos tipos de cuerpos receptores, lo cual conlleva a establecer diferentes concentraciones de los parámetros contaminantes.

Los cuerpos receptores que se analizan en la norma son 5: cuerpos fluviales sin y con capacidad de dilución, cuerpos lacustres, y cuerpos marítimos dentro y fuera de la zona de protección litoral. Cuyos límites permitidos de los diferentes parámetros se encuentra en los Anexos C.2, C.3 y C.4, respectivamente.

Por lo tanto, plantas de tratamientos de aguas servidas que descarguen las aguas servidas en cuerpos de agua superficiales continentales, deben cumplir con los límites máximos de los parámetros establecidos en las Tablas C.2 y C.3, según sea el caso. Por otra parte, emisarios submarinos debe cumplir con la Tabla C.4, en donde la zona de protección litoral contiene más exigencias ambientales, ya que es adyacente a la costa continental o insular.

Dentro de las diferencias de concentraciones en los distintos cuerpos receptores se aprecia que:

- Dada la capacidad de dilución de cuerpos fluviales, se permiten límites máximos de mayor magnitud que los que no cuentan con esta capacidad, aumentando en promedio al doble el valor de algunos parámetros.
- Dado que en los cuerpos lacustres se produce una condición trófica en el ecosistema por el estado de los nutrientes y crecimiento de materia orgánica, ya que el agua no fluye de forma constante como en los cuerpos fluviales, los límites permitidos de los parámetros de contaminación son más restrictivos que cualquier otro cuerpo de agua expuesto en el decreto.
- En relación con la descarga a cuerpos de agua marítimos, como ya se mencionó, presenta más exigencias en la zona de protección del litoral, el cual considera límites máximos en parámetros de materia orgánica, temperatura, nutrientes y coliformes fecales, que no se incluyen fuera de la zona de protección litoral, por lo que necesita un tratamiento secundario para esta remoción.
- Para la descarga en cuerpos marítimos se entregan dos máximos, el más bajo se establece dado que en áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

Actualmente, se está llevando a cabo el proceso de actualización del Decreto Supremo 90/2000, el cual busca mejorar la calidad ambiental de las aguas, de modo que mantengan o alcance la condición de ambiente libre de contaminación. Aprobándose el 31 de enero del año 2021 el anteproyecto de la revisión del DS 90/2000, donde se destacan los siguientes cambios (Vidal et al., 2021; Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2021; Jaramillo, 2021):

- Se incluyen los estuarios como un nuevo cuerpo receptor para la aplicación de la norma de emisión, cuyo objetivo es proteger a los frágiles ecosistemas desarrollados en el estuario, por lo que las concentraciones máximas permitidas son más estrictas.
- Redelimitación de la zona de protección litoral, debido a que la fórmula actual no asegura protección de fiordos y mares interiores e incluso tierra adentro que presentan ecosistemas frágiles.
- Reducción y regulación de concentraciones de descarga en cuerpos lacustres.
- Se incorporan nuevos parámetros a regular, como cloro libre residual (CLR) y trihalometanos (THM).
- Identificación de las situaciones que no aplica la norma.
- Fiscalización y control por parte del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
- Se establecen plazos para realizar modificaciones a las fuentes emisoras existentes.

Por lo tanto, la calidad de las aguas servidas descargadas a cuerpo de aguas por parte de las empresas sanitarias deben cumplir estos parámetros establecidos en este decreto. Un posterior reúso con la calidad mínima exigida o calidad superior en las aguas, que requiera mayor tratamiento, se analizará en la sección 6.3.2.

### 6.3.1.2. Decreto Supremo 46

Para la pretensión de contaminación de las aguas subterráneas, se promulgó el decreto supremo 46/2002, el cual controla la disposición de residuos líquidos que se infiltren en el subsuelo del acuífero, mediante la determinación de concentraciones máximas de contaminantes en los residuos descargados.

Para la emisión de residuos líquidos al acuífero o zona saturada, se toman en cuenta las siguientes consideraciones de descarga.

- Si la zona saturada contiene parámetros que exceden los descritos en la norma, el límite máximo de descarga será igual o superior al contenido natural.
- No se puede disponer residuos líquidos directamente a la zona saturada, sin que la emisión sea igual o superior a la calidad del contenido natural.
- Si la vulnerabilidad del acuífero es alta solo se podrá disponer residuos líquidos con calidad igual o superior al contenido natural.
- En el caso que las condiciones del acuífero sean de vulnerabilidad media y baja, se presentan límites máximos permitidos para los parámetros de los residuos líquidos a descargar (ver Anexo C.5 y C.6).

Cumpliendo con lo establecido en esta norma, es posible la realización de recarga de acuíferos de forma gestionada de aguas servidas tratadas, es decir, las aguas deben incluir tratamientos avanzados que puedan cumplir con los requisitos de calidad del acuífero para su posterior infiltración. A nivel mundial, se está realizando infiltración de aguas servidas tratadas y cuya experiencia sugiere que los acuíferos tienen capacidad de entregar un tratamiento adicional a las aguas infiltradas (CSIRO, 2020)

### 6.3.1.3. Decreto supremo 38

Este decreto aprueba el reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión, entre las cuales se encuentran las primarias y secundarias. Las normas primarias establecen valores de concentración mínimos o máximos de diferentes parámetros que cuya presencia o carencia pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población humana, también define niveles que originan situaciones de emergencias. Las normas secundarias, en cambio, establecen valores que pueden constituir un riesgo para la la protección o conservación del medio ambiente, o preservación de la naturaleza.

Es necesario mencionar que el procedimiento de dictación de normas de emisión debe sujetarse a las etapas señaladas en la ley 19.300, regula las actividades que puedan causar algún tipo de impacto ambiental, y el decreto 38/2002 que se está estudiando.

Dentro de las normas vigentes relacionadas con el agua encontramos:

- Primarias: norma de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo (DS N° 143/2008) y norma de calidad primaria para las aguas continentales superficiales para la protección de aguas marinas y estuarias donde se realizan actividades de recreación con contacto directo (DS N° 144/2009).

- Normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para la protección de: Lago Llanquihue (DS N°122/2010), Río Serrano (DS N°75/2010), Lago Villarrica (DS N°19/2013), Río Maipo (DS N°53/2014) y Río BioBío (DS N°9/2015).

Por lo tanto, el reúso de aguas servidas en estos cuerpos de aguas o que tengan contacto directo con personas, debe considerar las disposiciones de este decreto y decretos específicos de cada caso.

### **6.3.2. Normativas para el reúso de aguas servidas en riego**

Respecto a la utilización de aguas servidas en riego, su uso directo está prohibido por el DFL 725 también llamado Código Sanitario, sin embargo, se da la posibilidad de un uso en riego agrícola con un tratamiento que cumpla la calidad necesaria para esta actividad.

Si bien no hay una normativa obligatoria que incentive directamente el reúso de aguas servidas, existen normas chilenas, de carácter voluntario, que establecen parámetros de calidad (NCh 1333/78) y directrices para reúso en riego (nueva normativa), normas que se analizarán en las siguientes subsecciones.

Cabe destacar que el uso de agua para riego con agua potable está restringido por el decreto 316 artículo 15 n°1, el cual establece que sólo se podrá emplear esta agua para riego, fines comerciales o industriales cuando la abundancia de ella lo permita, es decir, se prioriza el consumo humano de agua potable. Por lo que en zonas de déficit hídrico, que se analizó anteriormente, se debe restringir el riego como medida obligatoria de gestión del agua.

Con respecto a las consideraciones de riesgo que se deben tener al utilizar aguas servidas para riego, se presenta la Tabla 6.4. Cabe destacar que cuando las aguas son tratadas este riesgo disminuye ya que aumenta la calidad.

Tabla 6.4: Resumen de los riesgos para la salud asociados con el uso de aguas residuales para el riego (FAO, 2013).

Grupo expuesto	Riesgo para la salud		
	Infecciones por helmintos	Infecciones por bacterias/virus	Infecciones por protozoos
Consumidores	Importante riesgo de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas	Brotos de cólera, tífus y shigelosis reportados por el uso de aguas residuales no tratadas; respuestas de seropositivo para <i>Helicobacter pylori</i> (no tratado; aumento de la diarrea no específica cuando la calidad del agua excede 104 coliformes termotolerantes / 100 ml)	Evidencia de protozoos parásitos encontrados en superficies de hortalizas regadas con aguas residuales, pero sin evidencia directa de transmisión de la enfermedad
Trabajadores agrícolas y sus familias	Importante riesgo de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas; mayor riesgo de infección por anquilostoma en trabajadores que no usan zapatos; el riesgo de infección por helmintos persiste, sobre todo en niños, aun cuando el agua residual se trate a < 1 huevo de helminto por litro; el riesgo en los adultos no ha aumentado con esta concentración de helmintos	Mayor riesgo de enfermedad diarreica en niños pequeños que tienen contacto con aguas residuales si la calidad del agua excede 104 coliformes termotolerantes / 100 ml; mayor riesgo de infección por salmonella en niños expuestos a aguas residuales no tratadas; mayor serorrespuesta a norovirus en adultos expuestos a aguas residuales parcialmente tratadas	Se reportó un riesgo de infección mínimo por <i>Giardia intestinalis</i> por el contacto con aguas residuales no tratadas y tratadas; sin embargo, en otro estudio realizado en Pakistán se estimó que el riesgo de infección por <i>Giardia</i> aumentó tres veces en aquellos agricultores que utilizan aguas residuales sin tratar, en comparación con el riego con agua dulce; se observa mayor riesgo de amebiasis cuando existe contacto con aguas residuales no tratadas
Comunidades cercanas	Transmisión de infecciones por helmintos no estudiadas en el caso del riego por aspersión, aunque lo anterior se aplica para el riego por inundación o por surcos, donde existe un alto contacto	Riesgo por aspersión con calidad de agua deficiente (106 - 108 coliformes totales / 100 ml) y alta exposición a pulverización asociada a mayores tasas de infección; el uso de aguas parcialmente tratadas (104 - 105 coliformes termotolerantes / 100 ml o menos) en riego por aspersión no se asocia a mayores tasas de infecciones por virus	No hay datos con respecto a la transmisión de infecciones por protozoos durante el riego por aspersión con aguas residuales

Por otro lado, es necesario conocer la sensibilidad que tienen los cultivos al ser regados con aguas servidas, por lo que en la Tabla 6.5 se resume el tipo de tratamiento que necesitan diferentes cultivos. También, se presenta la sensibilidad que tienen los cultivos a parámetros críticos como sodio intercambiable y boro (Anexo C.7 y C.8).

Tabla 6.5: Ejemplos de Cultivos Regados con Aguas Residuales Tratadas. Fuente: FAO, 2013

Tipos	Ejemplos de cultivos	Tratamiento requerido
Cultivos agrícolas	Cebada, maíz, avena	Secundario, desinfección
Cultivos de fibras y semillas	Algodón	Secundario, desinfección
Hortalizas que pueden consumirse crudas	Aguacate, repollo, lechuga, fresa	Secundario, filtración, desinfección
Hortalizas que se procesan antes del consumo	Alcachofa, remolacha, caña de azúcar	Secundario, desinfección
Cultivos para forraje	Alfalfa, cebada, mijo	Secundario, desinfección
Huertos y viñedos	Damasco, naranja durazno, ciruela, vides	Secundario, desinfección
Invernaderos	Flores	Secundario, desinfección
Bosques comerciales	Madera, álamos	Secundario, desinfección

### 6.3.2.1. NCh 1333

La norma NCh 1333/1978 establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos, con el fin preservar y proteger la calidad de las aguas que se destinan a usos específicos, entre los cuales se encuentra el riego. Es por ello que es fundamental considerar esta norma

para conocer la calidad mínima que necesitan los cultivos al ser regados con aguas servidas tratadas. Dentro de los requerimientos establecido para riego en este documento están:

- pH comprendido entre 5,5 y 9.
- Límite máximo para parámetros químicos (Ver Anexo C.9).
- Condiciones de salinidad según conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales (Ver Anexo C.10).
- Respecto a los pesticidas, los herbicidas deben identificarse por la autoridad pertinente en cada caso específico y de los insecticidas no se consideran que tengan efectos perniciosos en agua para riego.
- Requisitos bacteriológicos para cultivos que se producen a ras de suelo y que se consuman crudos, debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales / 100 ml.

#### **6.3.2.2. Nueva normativa de reúso de aguas servidas en riego**

En el contexto de escasez hídrica en el país, se han evaluado y promulgado diferentes propuestas de mitigación, entre las cuales se encuentra la reutilización de aguas servidas. Lo cual comenzó el año 2018 con la promulgación de la Ley 21.075 que regula la recolección y disposición de las aguas grises, en las áreas urbanas y rurales, con el propósito de ahorrar y reutilizar el vital elemento. Posteriormente, se continuó con la realización y promulgación de normas técnicas sobre el reúso de aguas servidas tratadas, las cuales buscan entregar directrices para proyectos de riego con dichas aguas.

En base a lo anterior, se presenta el alcance y el contenido específico que contienen las normas promulgadas. Cabe destacar que estas normas y la NCh 1333/1978 son de carácter voluntario (ver anexo A), a no ser que sean referenciadas en algún documento obligatorio, por lo que no impiden la creación de un contenido más específico sobre el reúso de aguas servidas, su modo y lugar de aplicación, entre otros.

Tabla 6.6: Conjunto normativo de reúso de aguas servidas tratadas para proyectos de riego.

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh3435:</b> Actividades de servicio relacionadas con el suministro de agua potable, aguas residuales y sistemas de aguas pluviales - Vocabulario</p>	<p>Define:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vocabulario común para las diferentes partes interesadas</li> <li>▪ Elementos clave y características del servicio para los usuarios</li> <li>▪ Componentes de los sistemas de suministro de agua potable, aguas residuales y agua pluvial</li> </ul>	<p>Vocabulario sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La organización</li> <li>▪ Los tipos y volúmenes de agua</li> <li>▪ Empresa prestadora de servicio de agua</li> <li>▪ El uso del agua</li> <li>▪ La gestión de activos y sistemas de activos</li> <li>▪ Los activos</li> <li>▪ El proceso</li> <li>▪ Los requisitos</li> <li>▪ El desempeño</li> <li>▪ Relación conceptual entre los conceptos</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh3452:</b> Reúso de aguas residuales tratadas para riego - Directrices para la adaptación de sistemas y prácticas de riego a aguas residuales tratadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices de ajuste de equipos de riego para utilización directa de ART en riego</li> <li>▪ Directrices de protección de equipos de riego</li> <li>▪ Definición de parámetros de ART para la eficiencia del sistema de riego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Monitoreo               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivo de monitoreo de ART</li> <li>• Procedimiento de monitoreo</li> </ul> </li> <li>▪ Depósitos ART               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad</li> <li>• Diseño</li> </ul> </li> <li>▪ Sistemas de filtración               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consideraciones de diseño</li> <li>• Etapas, estructura, tecnología, ubicación y grado de filtración</li> </ul> </li> <li>▪ Estaciones de bombeo               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara de bombeo inferior</li> <li>• Cabezal de succión flotante</li> <li>• Prevención de la estratificación de embalses</li> </ul> </li> <li>▪ Adaptación de emisores para riego ART               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Goteros</li> <li>• Aspersores</li> </ul> </li> <li>▪ Parámetros de diseño para riego ART</li> <li>▪ Tratamiento biológico y químico</li> <li>▪ Definición de calidad y tratamiento de ART para riego tecnificado</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3456/1:</b> Directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de riego - Parte 1: Base de un proyecto de reúso para riego</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices para el desarrollo y la ejecución de proyectos que pretenden utilizar aguas residuales tratadas (ART) para el riego y considera los parámetros del clima y el suelo</li> <li>▪ Proporcionar especificaciones para todos los elementos de un proyecto que utilizan ART para riego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejora de la calidad y del uso de las ART</li> <li>▪ Base de un proyecto de reúso para riego</li> <li>▪ Factores que influyen en los proyectos de riego de ART               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del agua (nutrientes, salinidad, otros elementos como metales pesados, microorganismos)</li> <li>• Clima (índice de aridez, evapotranspiración potencial)</li> <li>• Suelo (movilidad de contaminantes inorgánicos, desagregación de la capa superior del suelo, salinización de los suelos, movilidad y acumulación del boro y fósforo y contaminación del agua subterránea)</li> </ul> </li> <li>▪ Diferentes efectos sobre la salud pública, el suelo, los cultivos y las fuentes de agua</li> <li>▪ Clasificaciones de climas utilizando el índice de aridez</li> <li>▪ Resumen de los riesgos relacionados con el suelo</li> <li>▪ Ejemplos de niveles máximos de nutrientes y factores de salinidad en ART para riego</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3456/2:</b> Directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de riego - Parte 2: Desarrollo del proyecto</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Criterios de diseño para proyectos de riego de aguas residuales tratadas</li> <li>■ Proporcionar especificaciones de calidad, tipos de cultivos, estrategias de barrera, correlaciones entre los parámetros de interés y la distancia entre áreas de riego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Parámetros de salud pública y calidad de agua a tomar en consideración en el riego de ART               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveles sugeridos de calidad de aguas residuales</li> <li>• Calidad de las ART necesaria para el uso de riego (calidad sugerida de aguas residuales tratadas de acuerdo con parámetros químicos, físicos y biológicos)</li> <li>• Concepto de barreras (tipos sugeridos y número acreditado de barreras; cultivos que se pueden regar sin barrera)</li> <li>• Riesgos de salud pública y para los residentes en las cercanías por riego con ART</li> </ul> </li> <li>■ Ejemplos de cómo calcular el número y tipo de barreras</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3456/3:</b> Directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de riego - Parte 3: Componentes de un proyecto de reúso para riego</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Directrices para el desarrollo y ejecución de proyectos que pretenden utilizar aguas residuales tratadas (ART) para el riego</li> <li>■ Considera los factores de estación de bombeo, depósitos de almacenamiento, instalaciones de tratamientos y dispositivos de aplicación de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Depósito de almacenamiento               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de depósitos</li> <li>• Tiempo de almacenamiento</li> <li>• Problemas y estrategias (problemas asociados con el almacenamiento de aguas residuales en reservorios abiertos y cerrados, y estrategias de manejo)</li> </ul> </li> <li>■ Instalaciones de tratamiento adicionales               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración</li> <li>• Desinfección adicional</li> </ul> </li> <li>■ Sistemas de distribución               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estaciones de bombeo</li> <li>• Tuberías (características especiales de materiales constituyentes de tuberías comunes)</li> <li>• Accesorios (válvulas, <i>blowoffs</i>, medidores de flujo, grifos)</li> <li>• Resistencia del material de riego a pH y fertilizantes</li> </ul> </li> <li>■ Sistemas de riego               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas y técnicas de riego utilizados en sistemas comunes de riego por presión y de flujo por gravedad</li> <li>• Sistemas de riego a presión</li> <li>• Instrucciones para tratamientos preventivos, mantenimiento regular y manejo de fallos del sistema de riego presurizado sujeto a la calidad ART</li> </ul> </li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3456/4:</b> Directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de riego - Parte 4: Seguimiento</p>	<p>Monitoreo de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ La calidad de las aguas residuales tratadas para el riego</li> <li>■ Las plantas de riego</li> <li>■ El suelo con respecto a la salinidad</li> <li>■ Las fuentes naturales de agua en ambientes colindantes</li> <li>■ La calidad del agua en depósitos de almacenamiento</li> </ul> <p>Énfasis en los métodos de muestreo y su frecuencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Monitoreo de la calidad de las ART para riego <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimiento de muestreo</li> <li>• Recomendaciones para la preparación y conservación de muestras</li> <li>• Plan de monitoreo de ART (ejemplo de frecuencia de monitoreo de los parámetros relacionados con la salud en la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales)</li> <li>• Métodos analíticos para ART</li> </ul> </li> <li>■ Monitoreo de los cultivos de riego</li> <li>■ Monitoreo del suelo con respecto a la salinidad</li> <li>■ Monitoreo del ambiente receptor</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3462/1:</b> 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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices para la planificación y diseño de un sistema centralizado de reúso de agua</li> <li>▪ Referida a autoridades y profesionales relacionados o interesados en el área de reúso de aguas</li> <li>▪ Aplica a cualquier componente de un sistema de reutilización de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estimación de la demanda de agua <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de agua</li> <li>• Posibles usuarios</li> <li>• Condiciones de sitio</li> <li>• Componentes del sistema</li> </ul> </li> <li>▪ Consideraciones con respecto a la fuente de agua <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de fuentes de agua</li> <li>• Calidad de agua para la fuente</li> <li>• Consideraciones de confiabilidad y económicas</li> </ul> </li> <li>▪ Sistema de tratamiento de aguas recicladas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principio de diseño y configuraciones del sistema centralizado</li> <li>• Proceso de tratamiento</li> </ul> </li> <li>▪ Sistema de almacenamiento de agua reciclada <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de almacenamientos</li> <li>• Consideraciones de almacenamiento</li> <li>• Tamaño de la instalación</li> <li>• Control de calidad</li> </ul> </li> <li>▪ Sistema de transmisión y distribución del agua reciclada <ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentes y modelos de distribución</li> <li>• Estaciones de bombeo</li> <li>• Sistemas de distribución</li> </ul> </li> <li>▪ Sistema de monitorización</li> <li>▪ Plan de respuesta ante emergencias</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3462/2:</b> Reúso de agua en zonas urbanas - Directrices para un sistema centralizado de reúso de agua - Parte 2: Gestión de un sistema centralizado de reúso de agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices para la gestión de un sistema centralizado de reúso de agua</li> <li>▪ Referida a autoridades y profesionales relacionados o interesados en el área de reúso de aguas</li> <li>▪ Aplica a cualquier componente de un sistema de reutilización de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Problemas de gestión de sistemas centralizado de reúso <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos</li> <li>• Plan de gestión</li> <li>• Demanda de agua</li> <li>• Componentes del sistema</li> </ul> </li> <li>▪ Principios y metodologías de la gestión</li> <li>▪ Manejo de la fuente de agua</li> <li>▪ Gestión de sistemas de tratamiento de agua reciclada</li> <li>▪ Gestión de sistemas de almacenamiento de agua reciclada</li> <li>▪ Gestión de sistemas de tratamiento de agua reciclada</li> <li>▪ Monitorización de la calidad del agua</li> <li>▪ Gestión de incidencias y emergencias</li> <li>▪ Recomendaciones de apoyo</li> <li>▪ Revisión</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3465:</b> Reúso de agua en áreas urbanas - Directrices para el reúso y evaluación de seguridad - Métodos y parámetros para su evaluación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evaluación de seguridad para el reúso de agua no potable</li> <li>▪ Parámetros de aceptación pública</li> <li>▪ Métodos para los usuarios que diseñan, manejan y/o supervisan los esquemas y actividades del reúso de agua no potable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seguridad en el reúso para diferentes actividades <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consideraciones para la seguridad y aceptación pública del reúso de agua en áreas urbanas</li> </ul> </li> <li>▪ Parámetros para la seguridad en el reúso del agua <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros de calidad: físicos y químicos, estéticos, microbianos, de estabilidad y consideraciones de toxicidad</li> </ul> </li> <li>▪ Parámetros de selección de la calidad para el reúso de agua en áreas urbanas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptación de la fuente</li> <li>• Adecuado para el propósito</li> <li>• Consideración de parámetros para usos ambientales y recreacionales en áreas urbanas</li> <li>• Consideración de parámetros para usos municipales no potables en áreas urbanas</li> <li>• Consideración de parámetros para otros usos en áreas urbanas</li> <li>• Parámetros de interés en la calidad del agua</li> </ul> </li> <li>▪ Evaluación de seguridad en el reúso de agua <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros de calidad del agua y criterios de selección</li> <li>• Monitoreo de la calidad del agua</li> <li>• Evaluación de seguridad en el reúso de agua en áreas urbanas</li> </ul> </li> <li>▪ Criterios de calidad del agua y directrices para aplicaciones de reúso de agua en algunos países</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3482:</b> Directrices para la evaluación y gestión de riesgos para la salud en el reúso de aguas servidas tratadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices técnicas para la evaluación y gestión de los riesgos para la salud asociados con los patógenos contenidos en el agua regenerada</li> <li>▪ Aplica al uso de agua regenerada proveniente de cualquier fuente de agua tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceptos de evaluación y gestión de riesgos para la salud en el reúso de aguas servidas tratadas               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Categorías de aplicación de reúso de aguas servidas tratadas</li> </ul> </li> <li>▪ Evaluación y gestión de riesgo para la salud               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de peligros y eventos peligrosos</li> <li>• Evaluación de los niveles de riesgo</li> <li>• Medidas sugeridas de consecuencia o impacto</li> <li>• Medidas sugeridas de probabilidad de ocurrencia de eventos de exposición</li> <li>• Evaluación de riesgo sugerida</li> <li>• Limitaciones e incertidumbres</li> </ul> </li> <li>▪ Gestión de riesgos               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidas de control del tratamiento</li> </ul> </li> <li>▪ Puntos de control y monitoreo de desempeño</li> <li>▪ Diversos tipos de patógenos que se presentan en las AS</li> <li>▪ Patógenos que a menudo se detectan en aguas residuales sin tratar</li> </ul>
<p><b>NCh 3483:</b> Directrices para la clasificación del grado de calidad del agua para el reúso de agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices para la clasificación del grado de calidad del agua reciclada con aplicaciones seguras de reúso no potable, basados en el nivel de exposición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Clasificación del grado de calidad del agua para aplicación de reúso               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación al nivel de tratamiento</li> </ul> </li> <li>▪ Avisos de grados de calidad del agua</li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCh 3674:</b> Reúso de agua – Vocabulario</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Define los términos que se utilizan comúnmente en las normas de reúso de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vocabulario para el reúso de agua de cualquier tipo y para cualquier propósito</li> </ul>
<p><b>NCh 3678/1:</b> Directrices para la evaluación del desempeño de tecnologías de tratamiento para sistemas de reutilización de agua – Parte 1: Generalidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices sobre la evaluación de desempeño de tecnologías de tratamiento para sistemas de reúso de agua</li> <li>▪ Proporciona parámetros típicos de calidad de agua y eficiencia de tratamiento</li> <li>▪ Proporciona requisitos funcionales y no funcionales de tecnologías de tratamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceptos de tecnologías de tratamientos para sistemas de reúso de agua <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preliminar, primario, secundario, terciario, avanzado, desinfección y poscloración</li> <li>• Ejemplos de tipos de niveles de tratamiento y tecnologías adecuadas para varias aplicaciones de reúso</li> </ul> </li> <li>▪ Directrices para la evaluación de desempeño de las tecnologías de tratamientos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de requisitos funcionales y no funcionales en evaluaciones de desempeño de sistemas de reúso del agua</li> <li>• Evaluación de desempeño y requisitos de cumplimiento</li> <li>• Configuración de sistema de tratamiento</li> </ul> </li> <li>▪ Requisitos funcionales y no funcionales de tecnologías de tratamiento para sistemas de reúso de agua <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros de monitoreo en proyectos de reúso de agua no potable como una función del nivel de calidad del agua</li> <li>• Correspondencia aproximada de niveles de tratamiento con norma ISO</li> </ul> </li> </ul>

Norma	Alcance	Contenido específico
<p><b>NCH3678/2:</b> Directrices para la evaluación del desempeño de tecnologías de tratamiento para sistemas de reutilización de agua – Parte 2: Metodología para evaluar el desempeño de sistemas de tratamiento en base a emisiones de efecto invernadero</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directrices para evaluar el desempeño de sistemas de tratamiento en base a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)</li> <li>▪ Define un método para calcular la intensidad de emisión del dióxido de carbono equivalente</li> <li>▪ Método para evaluar el desempeño de un sistema de tratamiento usando la intensidad de emisión de CO<sub>2</sub>eq</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Símbolos y principios relacionados</li> <li>▪ Condiciones límite               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de tratamiento</li> <li>• Sistemas de gestión de residuos</li> <li>• Sistema auxiliar</li> </ul> </li> <li>▪ Procedimientos y cálculos para obtener la intensidad de emisión de CO<sub>2</sub>eq               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición y cálculo de diferentes parámetros asociados a emisiones GEI</li> </ul> </li> <li>▪ Ejemplo de factores de emisión, hoja de trabajo y cálculos de la intensidad de emisiones GEI</li> </ul>

En relación al contenido de las normas anteriormente citadas se destacan los parámetros químico, físicos y biológicos para definir las aguas servidas tratadas de buena, mediana y pobre calidad, lo cual se presenta en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7: Definición de la calidad de ART y recomendaciones de tratamiento para microaspersión o riego por goteo (NCh 3452).

Parámetro	Unidades	Buena calidad de ART	Calidad media de ART	Calidad pobre de ART	Tratamiento
Sólidos suspendidos	(mg/L)	< 20	20 a 60	> 60	Bombeo, sedimentación y filtración
Arena	(mg/L)	< 1	1 a 5	> 5	Bombeo, sedimentación y filtración
Limo y arcilla	(mg/L)	< 20	20 a 60	> 60	Bombeo, sedimentación y filtración
Calcio conc. (Como CaCO <sub>3</sub> )	(mg/L)	< 150	150 a 300	> 300	Ablandamiento, rectificación de pH
		A ser calculado por separado para cada tipo de agua			
Hierro	(mg/L)	< 0,1	0,1 a 0,5	> 0,5	Oxidación y eliminación de hierro
Manganeso	(mg/L)	< 0,02	0,02 a 0,3	> 0,3	Oxidación y eliminación de manganeso
Sulfuro	(mg/L)	< 0,01	0,01 a 0,2	> 0,2	Oxidación y purificación
Algas (Clorofila A)	(mg/L)	< 0,3	0,3 a 0,8	> 0,8	Tratamiento en fuente de agua. Filtrado y cloración
Plancton					Tratamiento en fuente de agua y filtración
Oxígeno Disuelto (OD) d	(mg/L)	> 2,0	2,0 a 0,5	< 0,5	Tratamiento en fuente de agua. Punto de bombeo
pH		6 a 7,5	7,6 a 8,0	> 8,0	Rectificación del pH al nivel requerido
Bacterias sulfúricas	(mg/L)	< 0,3	0,3 a 1,0	> 1,0	Oxidación y filtro de discos o grava
Bacterias de hierro	(mg/L)	< 0,3	0,3 a 1,0	> 1,0	Oxidación y filtro de discos o grava
Bacterias del manganeso	(mg/L)	< 0,3	0,3 a 1,0	> 1,0	Oxidación y filtro de discos o grava
Caracoles y conchas		0	Presencia	Crecimiento	Evitar el desarrollo
DBO	(mg/L)	< 10	10 a 50	> 50	Tratamiento de aguas residuales, filtrado y oxidación
DQO	(mg/L)	< 50	50 a 80	80	Tratamiento de aguas residuales, filtrado y oxidación
SST	(mg/L)	< 30	30 a 70	70	Tratamiento de aguas residuales, filtrado y oxidación

Las aguas servidas se componen de los elementos que ya existen en el agua potable y lo que se le añade al ser utilizada, por lo que trae cargas de diferentes parámetros que son limitantes para su reuso, como los presentados en la tabla 6.7 y otros que se encuentran en la NCh 3456/1. Dentro de estos parámetros se encuentran desencadenantes de obstrucciones en sistemas de riego, como microorganismos, o nutrientes que pueden ayudar al ahorro de fertilizantes, por lo que es necesario el control de los mismos.

Por otro lado, en la Tabla 6.8 se clasifican las aguas servidas tratadas en cuatro categorías, las cuales comienzan a partir de una definición de mediana calidad (según la Tabla 6.7).

Tabla 6.8: Calidad sugerida de aguas residuales tratadas de acuerdo con parámetros químicos, físicos y biológicos (NCh 3456/2).

Categoría	Tipo de agua regenerada	DBO	SST	Turbiedad	Coliformes termotolerantes		Nematodos intestinales	Usos potenciales sin barrera	Posible tratamiento correspondiente
		mg/l	mg/l	NTU	n°/100ml		Huevo/l		
		Máx.	Máx.	Máx.	95 % perc	Máx.	Máx.		
A	Aguas regeneradas de muy alta calidad	10	10	5	<= 10 o menos del límite de detección	100	-	Riego urbano sin restricciones y riego agrícola de cultivos alimenticios consumidos crudos	Secundario, filtración por contacto o filtración por membrana y desinfección
B	Aguas regeneradas de alta calidad	20	25	-	<=200	1.000	-	Riego urbano restringido y riego agrícola de cultivos alimenticios procesados	Secundario, filtración y desinfección
C	Aguas regeneradas de buena calidad	35	50	-	<=1000	10.000	-	Riego agrícola de cultivos no alimentarios.	Secundario y desinfección
D	Aguas regeneradas de mediana calidad	35	80	-	<=1000	10.000	5	Riego restringido de cultivos industriales y sembrados.	Secundario o clarificación de alta velocidad con coagulación, floculación

Se puede desprender que los parámetros exigidos en el DS90 para cuerpos fluviales sin dilución y cuerpos lacustres, se ajustan a una clasificación tipo D debido al parámetro SST. Por otra parte, el tratamiento actual para estas descargas corresponde a las de categoría tipo C, por lo que conociendo las calidades de las PTAS actuales se pueden dividir entre estas dos clasificaciones, ya que hay plantas que no exceden los 50 mg/l de SST del DS90. La NCh 1333, en cambio, no considera parámetros de DBO y SST, para ser comparada con las categorías mencionadas.

En relación a proyectos de riego, entre los factores que influyen en su óptima realización se encuentra la calidad, el clima y el suelo. La calidad de las aguas, como ya se ha visto, define el tipo de agua servidas con la cual se regará y depende de las sustancias orgánicas, inorgánicas y patógenas que pueda contener, cuyas sustancias pueden incrementar o alterar debido al clima y el tipo de suelo de riego. Dentro de los cuales se pueden distinguir, según la NCh 3456/1:

Calidad:

- Nutrientes: concentraciones más altas que las aguas dulces, destacan el nitrógeno, fósforo y potasio.
  - Nitrógeno: puede sustituir a los fertilizantes, sin embargo, el agricultor no tiene control de su concentración, que ya ha sido determinada por la fuente de agua y nivel de tratamiento. También, el aumento de su concentración podría disminuir los efectos perniciosos de la salinidad en el rendimiento de los cultivos.
  - Fósforo: la movilidad de este parámetro en el suelo depende del pH, en altos valores (mayores a 7) la movilidad es limitada y tiende a acumularse en las capas superiores y en pH bajos (menor a 7) la movilidad aumenta y el tiempo de aplicación se vuelve relevante.

- Potasio: la movilidad de este parámetro es limitada y menor que el fósforo. También podría disminuir los efectos perniciosos de la salinidad en el rendimiento de los cultivos, en menor medida que el nitrógeno.
- Salinidad: las aguas servidas tratadas contienen concentraciones más altas que las aguas limpias, se destaca el contenido total de sales por su efecto osmótico, concentración de cloruros, boro y sodio por su toxicidad específica y relación de absorción de sodio debido a problemas de permeabilidad del suelo.
- Microorganismos: entre los cuales se incluyen patógenos. Los microorganismos pueden no eliminarse en su totalidad con los tratamientos y su concertación dependerá del tipo de agua obtenida. Dado que no es posible la medición de todos los microorganismos, se realiza un muestreo de la concentración de indicadores microbianos, como los coliformes fecales,
- Otros elementos como metales y elementos químicos

Clima:

- Las aguas servidas tratadas son una importante fuente de aguas para su utilización en climas áridos y semiáridos.
- El comportamiento de nutrientes, metales pesados, microbios y productos químicos, condiciones sanitarias, suelo, cultivos, entre otros, se pueden ver afectados por las condiciones climáticas.
- Se puede clasificar el clima mediante el índice de aridez (IA), ver Anexo C.12

$$IA = \frac{P}{ETP} \quad (6.1)$$

donde:

P = es la precipitación.

ETP = es la evapotranspiración potencial estimada por el método de Penman.

Suelo:

- La sensibilidad del suelo es una característica inherente de cada sustrato y es independiente del tipo del suelo.
- Una elección adecuada del sitio para utilizar aguas servidas tratadas tiene que poseer características hidro-geológicas de suelo, climáticas y físicas, sin causar daños en la base terrestre o agua subterránea.
- La sensibilidad del suelo a la calidad de las aguas está definido por: textura, pH, contenido de materia orgánica, densidad aparente, conductividad hidráulica y capacidad de retención de agua.

Con respecto, a los diferentes tipos de cultivos, también tienen efecto a la hora de escoger la calidad de las aguas servidas a utilizar, por lo que es necesario conocer parámetros de

tolerancia o sensibilidad para componentes críticos o desprender los criterios utilizados. Sin embargo, no sólo se presentan cultivos con diferentes niveles tolerancia en aguas salinas y cultivos que no necesitan barreras. En estudios internacionales se pueden encontrar listados de tolerancia o sensibilidad para diferentes cultivos, como por ejemplo la FAO (ver Anexo C.7 y C.8), en cambio, las nuevas normas chilenas ponen a modo de ejemplo las tolerancias de las directrices israelíes, sin mayores detalles sobre los cultivos (ver Anexo C.11).

Los cultivos son propensos a absorber los contaminantes que existen en las aguas con las cuales se riegan, por lo cual es necesario minimizar esta absorción. Para ello, se definen un conjunto de medidas (ver tabla 6.9), también llamadas barreras, las cuales disminuyen el traspaso de patógenos desde las aguas servidas tratadas a los cultivos.

Tabla 6.9: Tipos sugeridos y número acreditado de barreras. Fuente: NCh 3456/2.

Tipo de barrera	Aplicación	Reducción de patógeno (unidades logarítmicas)	Nº de barreras
<b>Riego de cultivos para comida</b>			
Riego por goteo	Riego por goteo de cultivos de bajo crecimiento como a 25cm o más del suelo.	2	1
	Riego por goteo de cultivos de alto crecimiento como a 50 cm o más del suelo.	4	2
	Riego por goteo subsuperficial donde el agua no asciende por acción capilar a la superficie del suelo.	6	3
Riego por aspersión y rociadores	Riego por aspersión y microaspersión de cultivos de bajo crecimiento como 25 cm o más desde el chorro de agua.	2	1
	Riego por aspersión y microaspersión de árboles frutales como 50 cm o más del chorro del agua.	4	2
Desinfección adicional en campo	Desinfección de bajo nivel	2	1
	Desinfección de alto nivel	4	2
Lamina cubierta resistente al sol	En riego por goteo donde la lámina separa el riego de las verduras.	2 a 4	1
Muerte de patógenos	soporte de extinción por cese o interrupción del riego antes de la cosecha.	0,5 a 2 por día	1 a 2
Producir lavados antes de vender a los clientes	Lavar los cultivos de ensaladas, verduras y frutas con agua potable.	1	1
Producir desinfectados antes de vender a los clientes	Lavar los cultivos de ensaladas, vegetales y frutas con una solución desinfectante débil y enjuagarlos con agua potable.	2	1
Producir pelados	Pelado de frutas y tubérculos	2	1
Producir cocinados.	Inmersión en agua hirviendo o a alta temperatura hasta que el producto esté cocido.	6 a 7	3
<b>Riego de forrajes y cultivos sembrados</b>			
Control de acceso	Restringir la entrada al campo regado durante 24 horas y más después del riego, por ejemplo, el ingreso de animales en pastizales o la entrada de trabajadores de campo.	0,5 a 2	1
	Restringir la entrada al campo regado cinco días y más después del riego.	2 a 4	2
Secado al sol de cultivos forrajeros	Cultivos forrajeros y otros cultivos que se secan al sol y se cosechan antes del consumo.	2 a 4	2
<b>Riego de jardines públicos</b>			
Control de acceso	Riego por la noche cuando el público no ingresa a los parques, campos deportivos y jardines de riego.	0,5 a 1	1
Control de riego por aspersión	Riego por aspersión a distancias superiores a 70 m de áreas residenciales o lugares de acceso público.	1	1

Como ya se mencionó en la revisión de la literatura, el almacenamiento de aguas servidas debe ser capaz de sobrellevar la variación de demanda, pero también es necesario controlar los cambios de calidad mientras se mantenga almacenada, es por ello que dentro de los reservorios se puede realizar un tratamiento adicional para controlar los cambios de las aguas o aumentar la calidad. Las medidas de manejo para disminuir problemas físicos, químicos y biológicos en almacenamientos de aguas servidas (reservorios abiertos y cerrados), se encuentran en las Tablas de Anexo C.13 y C.14.

Según lo descrito anteriormente, es de importancia de obtener calidades de aguas servidas tratadas apropiadas para su reúso en riego, por lo que se en a Figura 6.1 se presenta un esquema con las consideraciones para su elección.

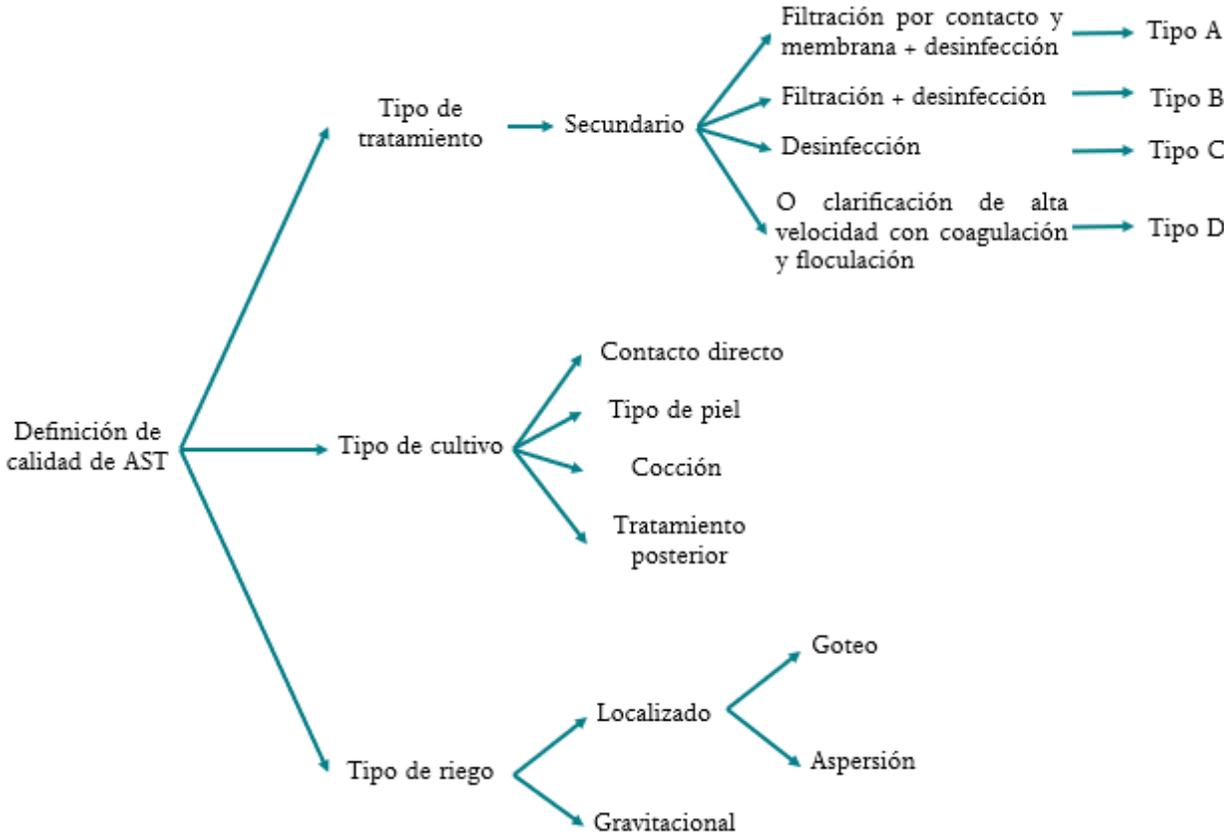


Figura 6.1: Consideraciones al escoger la calidad de las aguas a utilizar.

En relación a las posibles formas de realizar un sistema de reúso, se presenta la Figura 6.2, donde se muestran diferentes modelos genéricos de sistemas centralizados y no centralizados de reúso de agua, los cuales pueden mejorar el tratamiento y almacenar el agua según sea necesario hasta llegar a su destino.

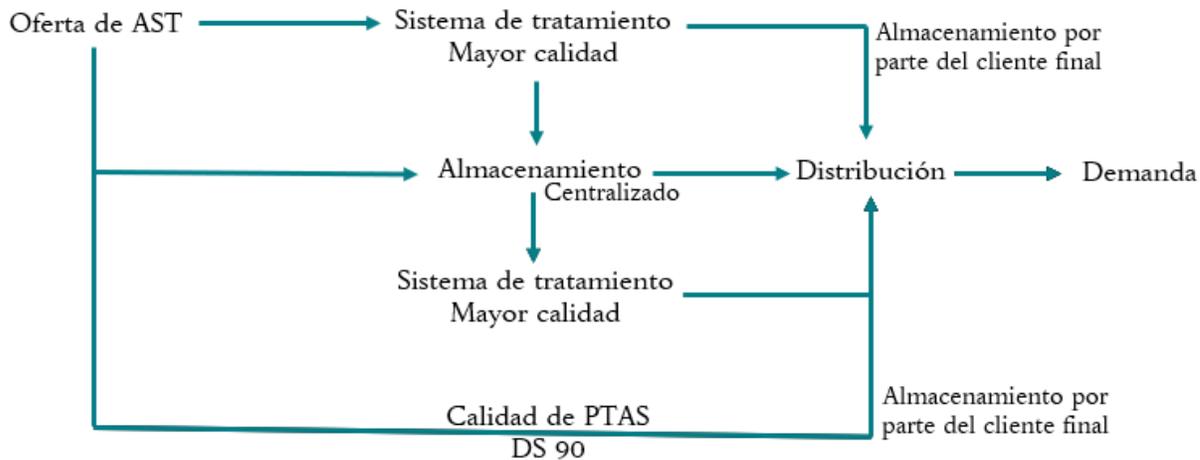


Figura 6.2: Conceptualización de sistemas de proyectos de reúso (Adapatado de NCh 3462/1).

Finalmente, se puede realizar una Tabla comparativa entre los límites máximos de los parámetros exigidos en cada norma, como se presenta en la Tabla 6.10 con las normativas ya conocidas (DS90, NCh 1333 y DS 46) y en la Tabla 6.11 las nuevas normativas relativas a reúso de agua en riego (NCh 3452 y NCh 3456).

Tabla 6.10: Comparación de normas de emisión y calidad, que pueden delimitar la calidad de las aguas servidas tratadas.

Contaminante	Unidad	Expresión	DS90					NCh 1333	DS 46	
			Límite máximo permitido Sin dilución	Límite máximo permitido Con dilución	Límite máximo permitido Dentro ZPL	Límite máximo permitido Fuera ZPL	Límite máximo permitido Lacustre	Límite Máx permitido Riego	Límite Máx permitido Media	Límite Máx permitido Baja
DBO5	mg O2/L	DBO5	35	300	60	-	35			
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SST	80*	300	100	300	80			
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100ml	1000	1000	1000-70		1000-70	1000		
Aceites y grasas	mg/l	A y G	20	50	20	150	20		10	10
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	NKT	50	75	50		10		10	15
PH	Unidad	pH	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 9,0	5,5 - 9,0	6,0 - 8,5	5,5-9	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Temperatura	C°	T°	35	40	30		30			
Fósforo	mg/l	P	10	5	5		2			
Sodio porcentual (Na)	%	Na						35		
Aluminio	mg/l	Al	5	10	1	10	1	5	5	20
Arsénico	mg/l	As	0,5	1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,01	0,01
Cadmio	mg/l	Cd	0,01	0,3	0,02	0,5	0,02	0,01	0,002	0,002
Cianuro	mg/l	CN-	0,2	1	0,5	1	0,5	0,2	0,20	0,20
Cobre total	mg/l	Cu	1	3	1	3	0,1	0,2	1	3
Índice de Fenol	mg/l	Fenoles	0,5	1	0,5	1	0,5			
Cromo Hexavalente	mg/l	Cr6+	0,05	0,2	0,2	0,5	0,2		0,05	0,2
Fluoruro	mg/l	F-	1,5	15	1,5	1	1	1	1,5	5
Hierro disuelto	mg/l	Fenoles	5	10	10		2		5	10
Manganeso	mg/l	Mn	0,3	3	2	4	0,5	0,2	0,3	2
Mercurio	mg/l	Hg	0,001	0,01	0,005	0,02	0,005	0,001	0,001	0,001
Molibdeno	mg/l	Mo	1	2,5	0,1	0,5	0,07	0,01	1	2,5
Plomo	mg/l	Pb	0,05	0,5	0,2	1	0,2	5	0,05	0,05
Níquel	mg/l	Ni	0,2	3	2	4	0,5	0,2	0,2	0,5
Sulfatos	mg/l	SO42-	1000	2000	1	5	1	250	250	500
Zinc	mg/l	Zn	3	20	5	5	5	2	3	20
Selenio	mg/l	Se	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
Boro	mg/l	B						0,75	0,75	3

Tabla 6.11: Comparación de la nueva normativa de reúso, que pueden delimitar la calidad de las aguas servidas tratadas debido a diferentes cultivos y/o tipos de riego.

Contaminante	Unidad	Expresión	NCh 3452			NCh 3456			
			Límite Máx permitido Buena calidad de ART	Límite Máx permitido Calidad media de ART	Límite Máx permitido Calidad pobre de ART	Límite Máx permitido A	Límite Máx permitido B	Límite Máx permitido C	Límite Máx permitido D
DBO5	mg O2/L	DBO5	< 10	10 a 50	> 50	10	20	35	35
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SST	< 30	30 a 70	70	10	25	50	80
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100ml				100	1000	10000	10000
PH	Unidad	pH	6 a 7,5	7,6 a 8,0	> 8,0				
Molibdeno	mg/l	Mo	< 0,1	0,1 a 0,5	> 0,5				
Plomo	mg/l	Pb	< 0,02	0,02 a 0,3	> 0,3				
Turbiedad	NTU	Turb				5			

# Capítulo 7

## Caso de estudio: Proyecto de reúso en la región de Valparaíso

### 7.1. Situación actual en la región

La región de Valparaíso presenta una compleja geografía y un clima templado mediterráneo que varía a lo largo de la región, por lo que tiene un gran número de cursos de agua, entre los cuales destacan los ríos Petorca, La Ligua, Aconcagua y la desembocadura del río Maipo (BCN, s.f.-b). La región se divide en 8 provincias, con variadas actividades económicas, destacando la minería, pesca, agricultura, entre otras. La agricultura, la cual es de importancia para este estudio, es favorecida por el tipo de suelo y la red de canales que existe en la región (ver Figura 7.1).

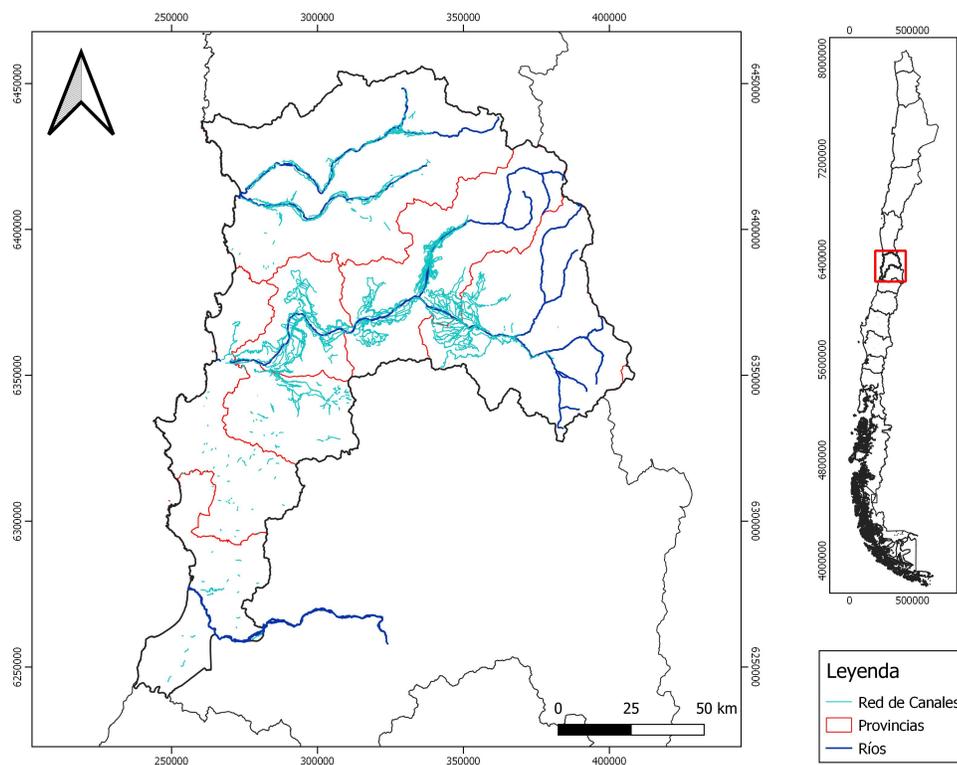


Figura 7.1: Red de canales de la región de Valparaíso.

En relación al uso de suelo, se presenta la Figura 7.2 y Tabla 7.1, donde destacan los bosques, praderas y matorrales, terrenos sin vegetación y terrenos agrícolas en la región (los resultados por provincia se pueden apreciar en el Anexo; la provincia de Marga Marga se creó posterior al censo del año 2007, por lo cual a partir los datos de cultivos y riego, no son incluidas en estas categorías D.1, D.2, D.3, D.4, D.5, D.6 y D.7).

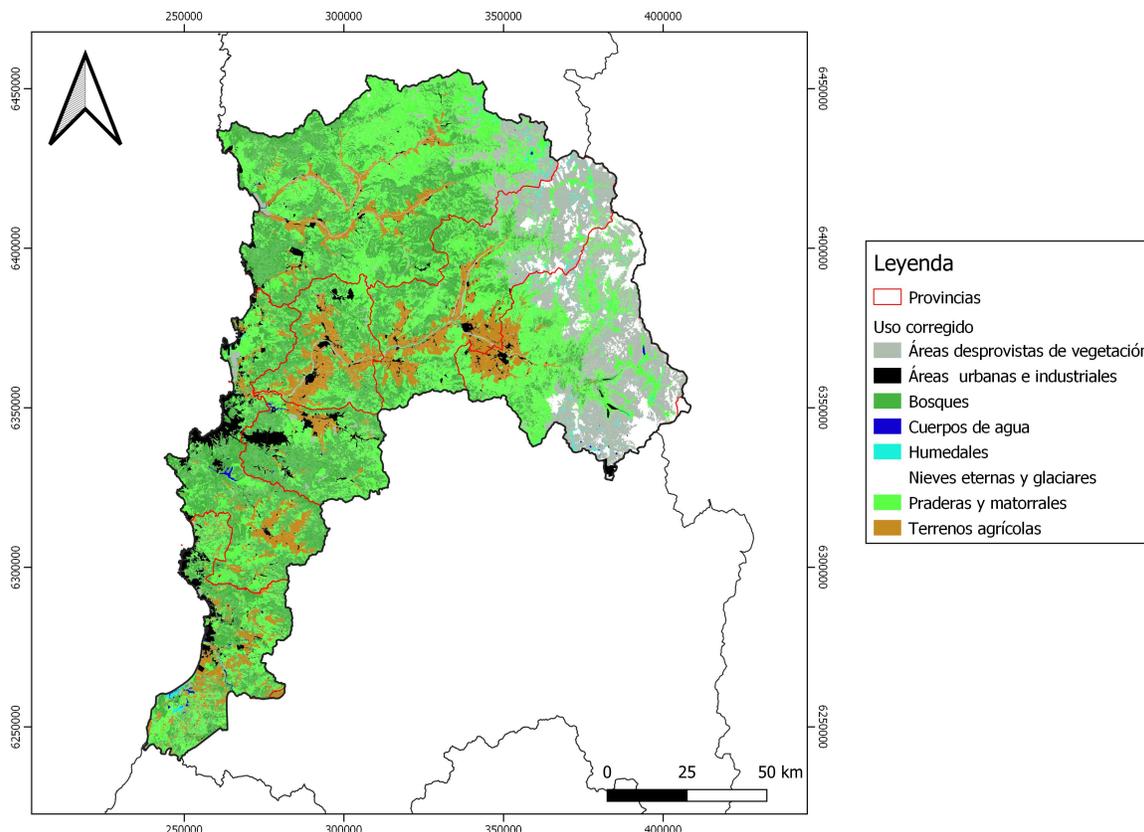


Figura 7.2: Uso de suelo de la región de Valparaíso.

Tabla 7.1: Superficie y porcentaje de uso de suelo de la región de la Valparaíso (INE, 2007).

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>

Dentro de las plantaciones de la región se destacan las forestales, frutales y hortalizas (ver

Tabla 7.3), y en estas dos últimas categorías se destacan los paltos, viveros, nogales, lechuga, tomate y alcachofas son los más cultivados en la región (ver Figura 7.4), lo cual refuerza el hecho que el suelo de la región es apto para la agricultura.

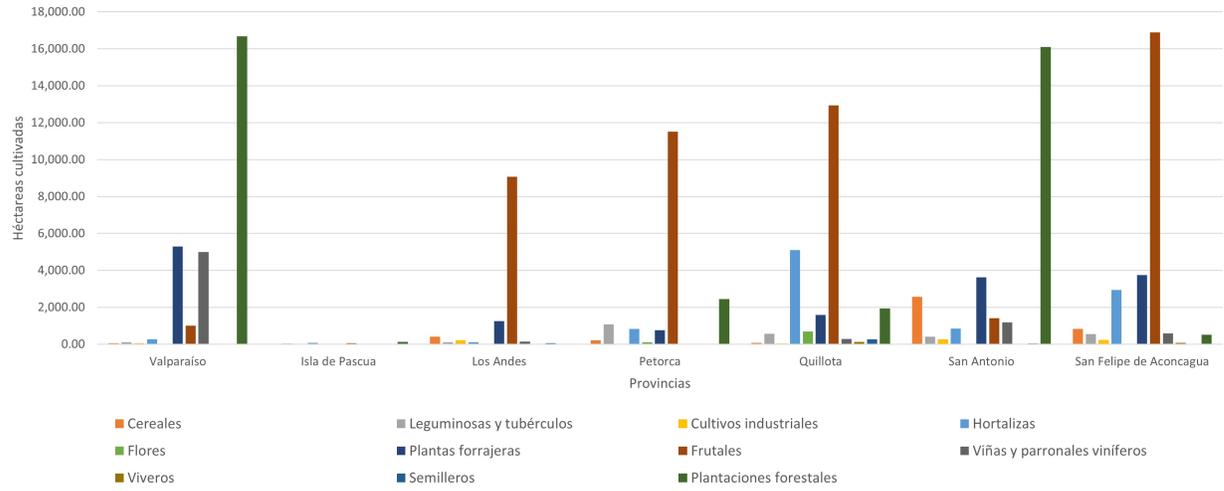


Figura 7.3: Plantaciones por provincias de la región de Valparaíso (INE, 2007).

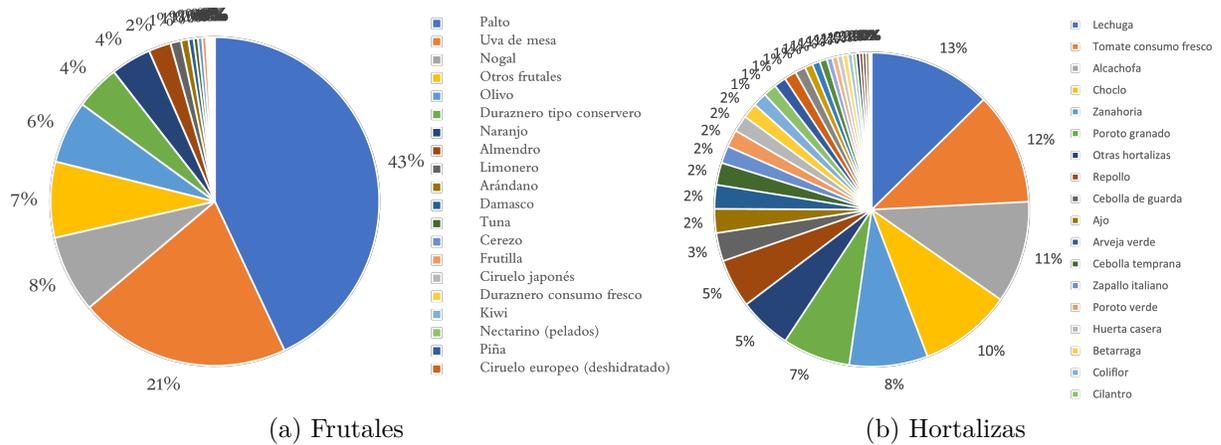


Figura 7.4: Tipos de cultivos de la región de Valparaíso (INE, 2007).

Con respecto a las tecnologías de riego, destacan el riego localizado: goteo, cinta, microaspersión y microyect, lo cual se relaciona con el tipo de cultivo de la región, ya que existe una gran exigencia del recurso hídrico especialmente en cultivos como los paltos.

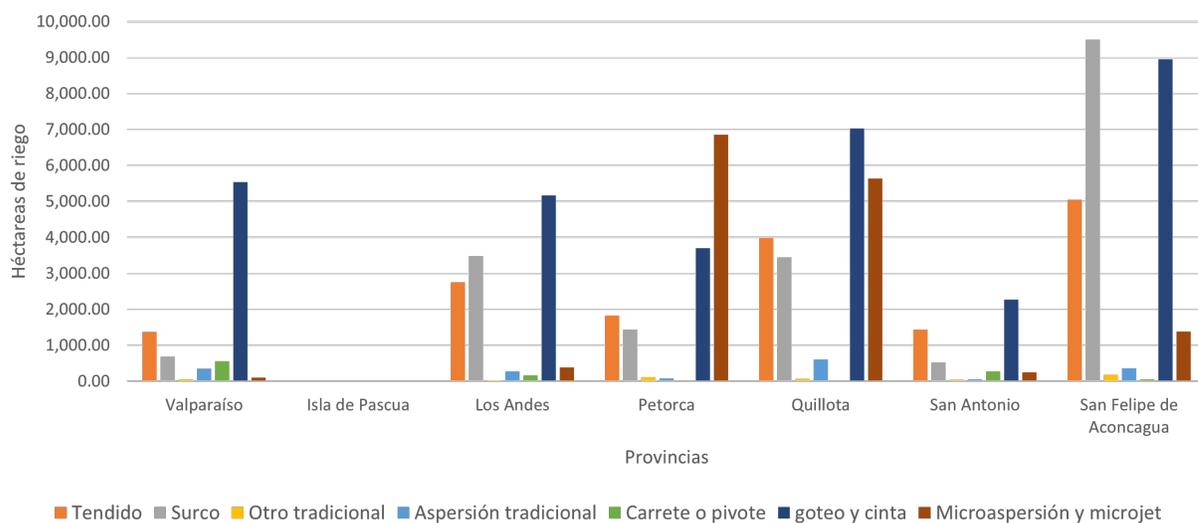


Figura 7.5: Tecnologías de riego en la región de Valparaíso (INE, 2007).

Sin embargo, la región ha sido una de la más afectadas por la escasez hídrica, ya que cuenta con cuatro decretos de escasez, los cuales abarcan siete de las ocho provincias, y esto a su vez, 37 de las 38 comunas, siendo la región con mayor cantidad de estos decretos. En la Tabla 7.2 se presentan los decretos de escasez de la región, mientras que en el Anexo D.1 se presentan los 24 decretos a nivel país.

Tabla 7.2: Decretos de escasez en la región de Valparaíso (DGA, 2022).

Provincia	Comuna	N° de comunas bajo decreto	Área Km2	Población rural
Marga Marga	Quilpué, Limache, Olmué, Villa Alemana	4	1158	15524
Petorca	Petorca, La Ligua, Cabildo, Papudo	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

El déficit de precipitaciones alcanza el 70 % para el año 2021 respecto a su promedio histórico de los últimos 30 años, según reporta la empresa de servicios sanitarios ESVAL (ESVAL, 2022). También, los sistemas de agua potable rural (APR) se han visto afectados con la se-

quía de pozos y napas teniendo que recurrir a camiones aljibes para abastecerse (La Tercera, 2021b).

En la región existen diversos embalses para almacenar agua con el fin de ser utilizados para consumo humano (agua potable), riego u otras actividades. Estos embalses poseen una alta capacidad de almacenamiento, principalmente aquellos cuyo uso es almacenar agua para consumo humano, como es caso de los embalses Peñuelas y Aromos, cuyas capacidades superan los 30 hm<sup>3</sup> (ver Figura 7.8). Sin embargo, estos se han visto directamente afectados por la escasez hídrica, llegando a estar prácticamente secos como ocurre actualmente con el embalse Peñuelas, tal como se puede observar en las Figuras 7.6 y 7.7 donde se aprecia la variación del volumen en el último año. Esto ha provocado una gran presión para entregar agua potable a la población y por lo cual la DGA ha tenido que intervenir buscando mitigar la escasez de agua en la región (problemática abarcada en la sección 7.2).

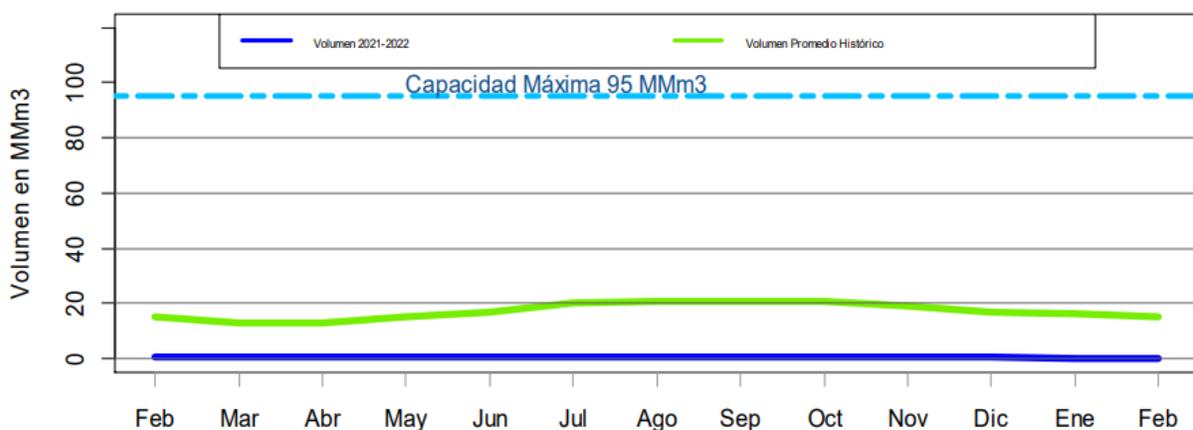


Figura 7.6: Variación del volumen del Embalse Peñuelas, en el periodo febrero 2021 - febrero 2022 (DGA,2022).

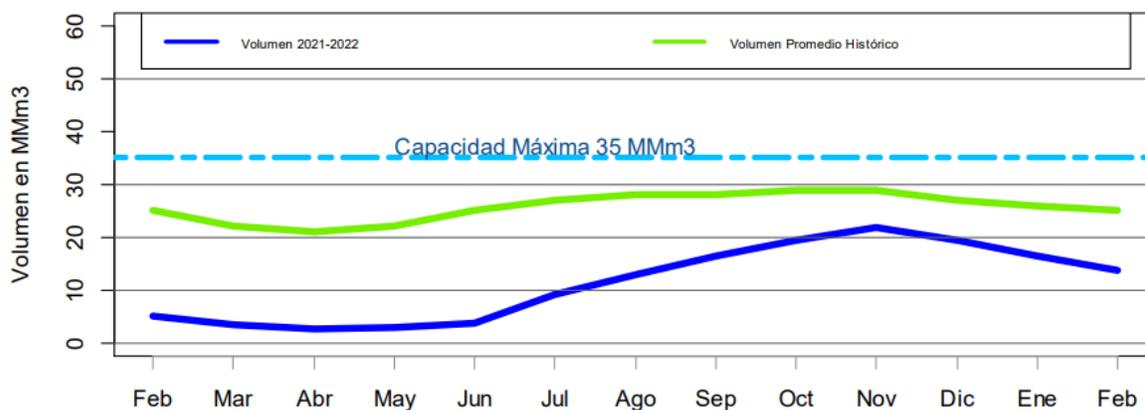


Figura 7.7: Variación del volumen del Embalse Los Aromos, en el periodo febrero 2021 - febrero 2022 (DGA,2022).

Dado lo anterior, desde el año 2018 se han concretado y ejecutados diversos proyectos con el fin de dar seguridad al suministro hídrico de la región, entre los cuales se encuentran (Ley de Transparencia SISS, 2022):

- Para la localidad de Gran Valparaíso - Litoral norte:
  - Conducción reversible Los Aromos-Concón (1.950 l/s - Julio 2021): Permite conectar el embalse Los Aromos con la planta de tratamiento de agua potable de Concón cercana a la desembocadura del río Aconcagua. Esta conducción tiene la particularidad de ser reversible permitiendo en los meses de invierno, cuando se espera una mayor disponibilidad de agua en la cuarta sección del río, pueda captar y reservar en el embalse para ser utilizada durante el verano, descargándola esta vez hacia la planta de tratamiento.
  - Nuevos Pozos para recarga de Aromos.
  - Conducción tubería Romeral (Agosto 2021): Obra de 7 km de extensión que aumentó la eficiencia en el traslado de los recursos extraídos en el sector Las Vegas, hacia los canales Waddington y Ovalle, para la recarga del embalse Los Aromos.
  - Post tratamiento Mn.
  - Impermeabilización Tranque Las Vegas.
- Para la localidad del Litoral sur:
  - Batería de Pozos San Juan Litoral Sur (900 l/s), la cual entrega autonomía en el caso que se registren eventos de turbiedades en el río.

También se ha generado una mesa de trabajo llamada "Mesa del Aconcagua", donde las cuatro secciones de usuarios del río Aconcagua en conjunto con la empresa sanitaria y autoridades gubernamentales con atribuciones en el tema (DGA MOP – Agricultura), trabajan en conjunto para coordinar la gestión del recurso hídrico en la cuenca.

Es en este contexto que el reúso de aguas servidas llegaría como una medida adicional de mitigación para los regantes de la región frente a la escasez de agua, ya que puede ayudar a disminuir la presión actual en la demanda agrícola (ver Tabla 3.2 del Capítulo 3), el cual abarca el 62,59 % de las aguas demandadas, es decir, un caudal de 21,31 m<sup>3</sup>/s.

Como se presentó en el Capítulo 3, las aguas servidas que presentan potencial de reúso son las provenientes de emisarios submarinos y PTAS costeras (ver Figura 7.8) y siendo la región con mayor cantidad de aguas servidas para reusar con un caudal de 3,21 m<sup>3</sup>/s (ver Tabla 7.3).

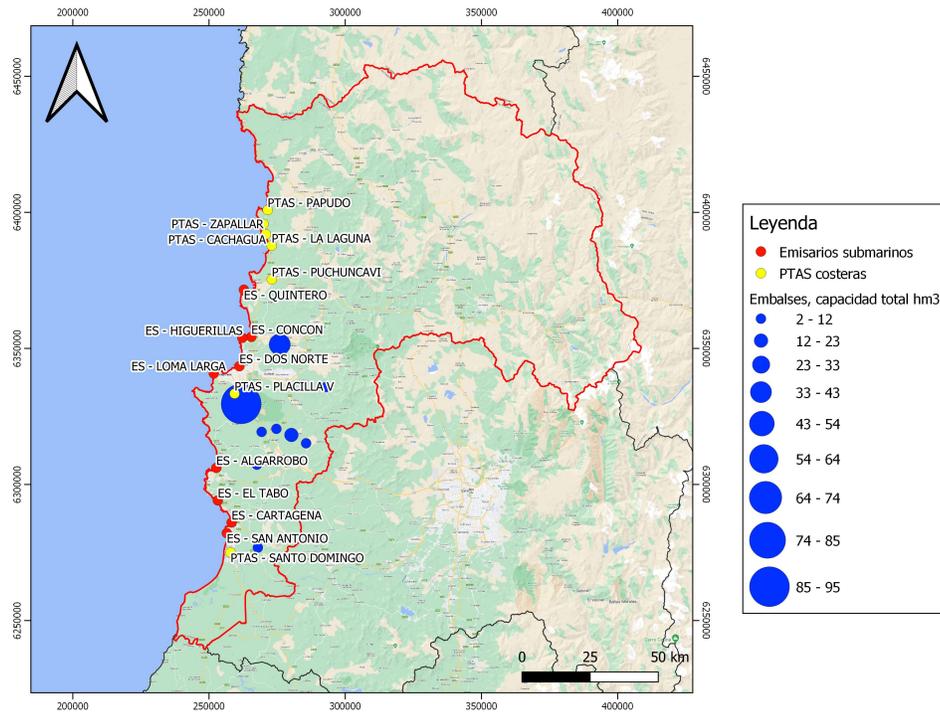


Figura 7.8: Ubicación de emisarios submarinos, PTAS costeras y capacidad máxima de embalses de la región.

Tabla 7.3: Caudal de emisarios submarinos y PTAS costeras de la región de Valparaíso.

PTAS Costeras		Emisarios Sumbarinos	
	$m^3/s$		$m^3/s$
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>

## 7.2. Problemática en estudio

Debido a la escasez hídrica en la región, las autoridades han tenido la obligación de priorizar el uso potable de las aguas, es decir, anteponer las necesidades de consumo humano antes que otras actividades. Es por ello que para asegurar este consumo se toman medidas especiales como la redistribución de las aguas, lo cual se realiza mediante acuerdos entre los entes involucrados (usuarios del agua) o intervenciones por parte de la autoridad competente según el artículo n° 314 de Código de Aguas (que establece que las zonas declaradas con escasez y

donde no existe acuerdo por parte de los usuarios, la DGA puede intervenir redistribuyendo las fuentes naturales, así como suspender las atribuciones de las Juntas de Vigilancia, y ordenar extracciones de aguas desde cualquier punto sin tener que constituir derechos de aguas).

Esta situación se presenta con los derechos de aguas del río Aconcagua, el cual es administrado por cuatro Juntas de Vigilancia (ver Figura 7.9), para así abastecer el embalse Los Aromos u otra infraestructura cuyo fin sea almacenar agua para uso potable. Estas redistribuciones se han llevado a cabo con acuerdos voluntarios entre las Juntas de Vigilancias, la empresa sanitaria ESVAL S.A. y autoridades competentes como la SEREMI de Obras Públicas de Valparaíso durante periodos que se evalúan mientras existan decretos de escasez, donde las Juntas de Vigilancias se comprometen a cerrar sus compuertas para que lleguen las aguas al destino acordado.

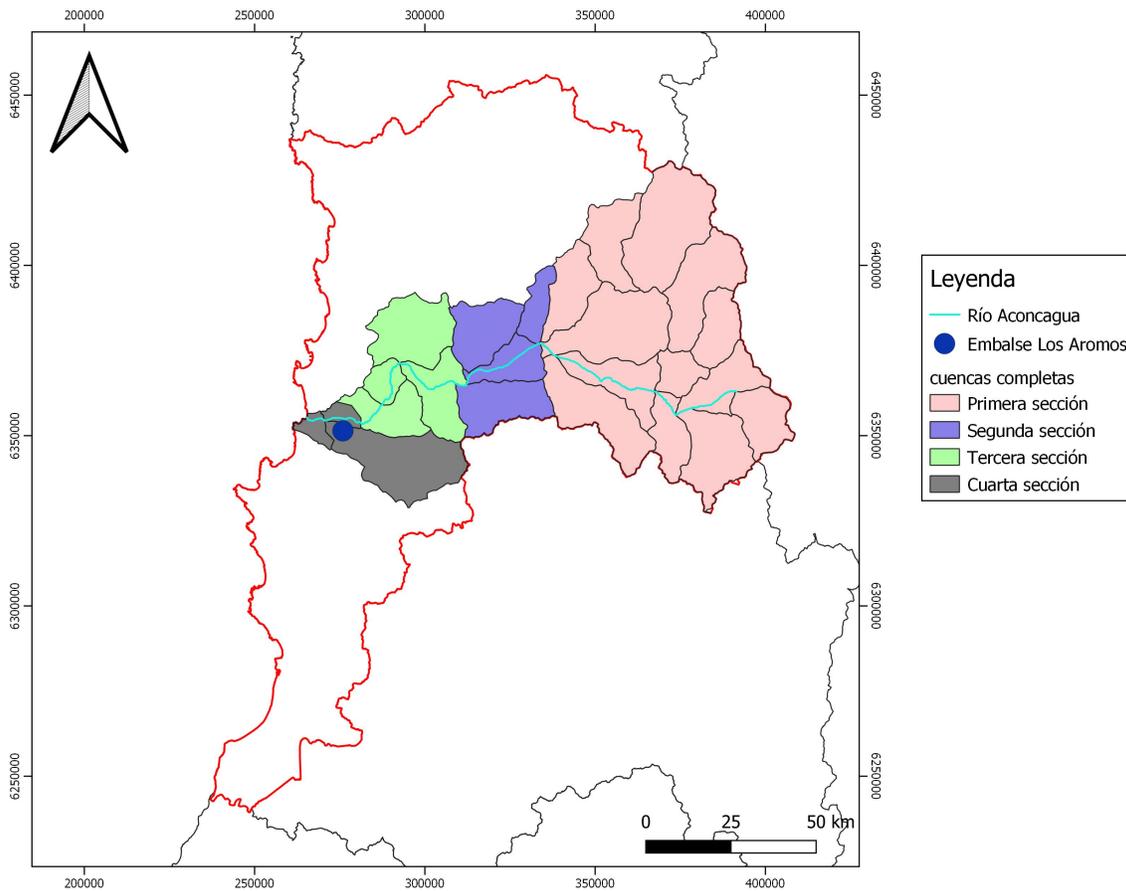


Figura 7.9: Secciones del río Aconcagua y ubicación del embalse Los Aromos.

Sin embargo, en octubre del 2021, se realizó una intervención por parte de la Dirección General de Aguas (DGA) sin acuerdo previo, en la cual se restringía el uso de las aguas a los regantes del sector para así recargar el embalse Los Aromos con un volumen de 22 millones de metros cúbicos, que aseguran el abastecimiento a la población del Gran Valparaíso hasta junio del 2022 (DGA, 2021a; La Tercera, 2021a).

Esta medida fue rechazada por diferentes usuarios y autoridades de la región, debido al daño

que generaría a los pequeños y medianos agricultores, catalogándola como una decisión poco estudiada (Emol, 2021a, 2021b). Lo cual llevó a un trabajo conjunto con los involucrados para modificar las condiciones de aporte, cumpliendo el objetivo de recargar el embalse minimizando daños hacia la actividad agrícola de la zona, comenzando a regir desde octubre del mismo año (DGA, 2021b, 2021c).

### 7.3. Propuesta de intercambio de aguas servidas

Es bajo este contexto que la propuesta en estudio consiste en intercambiar las aguas servidas tratadas por aguas crudas de los canalistas que constituyen derechos de aguas en el río Aconcagua, con el fin de utilizar estas últimas para consumo humano y que las aguas servidas tratadas sean utilizadas para riego agrícola. Es por ello que se evaluará la factibilidad técnica y económica de la conducción, elevación y tratamiento de aguas servidas hasta el punto de intercambio.

Para ello se detalla a continuación, la metodología a utilizar.

#### 7.3.1. Metodología

##### Caudal de diseño

Para la obtención del caudal de diseño, se realizan los siguientes supuestos y cálculos:

- Caudal medio y población del año 2020, suponiendo que el caudal de las aguas servidas se mantiene constante.
- Población para el emisario Dos Norte: 67 % de las comunas de Viña del Mar, Reñaca, Villa Alemana y Quilpué, ya que este emisario funciona los meses marzo a octubre.
- Población para el emisario Loma Larga: 33 % de las comunas de Viña del Mar, Reñaca, Villa Alemana y Quilpué y 100 % de la comuna de Valparaíso, ya que recibe las aguas servidas de Dos Norte cuando este emisario no esta en operación o se sobrepasa su capacidad.
- Se utiliza la fórmula del coeficiente de Harmon presente en la norma NCh 1105/2019, y se calcula su valor, con P la población

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}} \quad (7.1)$$

Finalmente, se obtiene el caudal máximo horario, es decir, el caudal de diseño, multiplicando el caudal medio por el coeficiente de Harmon.

##### Conducción

Debido a factores técnicos como distancias, diámetros y presiones se escogen tuberías de acero helicoidal revestido.

Para el diseño de la conducción se analizan 2 casos: acueducto e impulsión, el primero producto a la fuerza de gravedad y el segundo por presión que genera la bomba, para ambos casos se toman las siguientes consideraciones:

- Velocidad máxima 2 m/s, sin embargo, se aceptan 2,5 m/s en casos especiales. Velocidades superiores se tomarán otras alternativas que se revisan según el avance de la propuesta.
- Para las pérdidas friccionales se considera la fórmula de Hazem-Williams, con coeficiente de rugosidad de 120 dado que se trata de un material de acero que conduce aguas servidas.

$$hf = 1,21 \cdot 10^{10} \cdot L \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \cdot d^{-4,87} \quad (7.2)$$

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]

- Otras pérdidas de la conducción (como las pérdidas singulares) se consideran como un 5 % de las friccionales.

## PEAS

En relación a las plantas de elevación de aguas servidas, se consideran bombas centrifugas de impulsión, las cuales dependen del caudal y altura de elevación para su elección, cuyo caudal se puede fragmentar aumentando el numero de bombas. Es necesario considerar n+1 bombas para el diseño.

Se calcula la potencia de las bombas mediante la fórmula:

$$Pb = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot hb}{1000 \cdot n} \quad (7.3)$$

donde:

Pb: potencia de bomba [kW]

$\rho$ : densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

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

g: gravedad [m/s<sup>2</sup>]

hb: altura de bomba [m]

n: rendimiento

## Estanques

Para los estanques de succión y carga se considera un tiempo de 20 minutos, ya que según las normas NCh 2472/2000 debe ser mayor a 10 y menor a 30 minutos. Se utiliza la siguiente fórmula presente en la norma:

$$V = \frac{Q \cdot t}{4} \quad (7.4)$$

donde:

V: volumen necesario [m<sup>3</sup>]

Q: capacidad de la bomba [m<sup>3</sup>/min] o incremento de la capacidad cuando una bomba se encuentra en funcionamiento o arranca una segunda o cuando se aumenta la velocidad del motor (caudal de bombeo)

t: tiempo en minutos de un ciclo de bombeo (tiempo entre arranques sucesivos o cambios de velocidad de una bomba que funciona entre los límites de un intervalo)

Para el estanque de almacenamiento se considera un tiempo igual a un día, el cual dependerá de las necesidades y sistema de regulación por parte del usuario.

### **Tratamiento**

Dado que las aguas servidas provienen de emisarios submarinos, es decir, con un tratamiento preliminar, se debe realizar un tratamiento secundario para obtener calidades que puedan ser reusadas en riego según la normativa existente. Por lo tanto, se analiza la realización de un sistemas de lodos activados, asociada a la carga orgánica que recibe.

### **Costos**

Los costos obtenidos para este estudio fueron extraídos desde los estudios tarifarios de ESVAL que se encuentran en la Biblioteca técnica de la SISS, por lo que se tiene una visión similar a los gastos reales que se producen en el área sanitaria.

Sin embargo, debido a las dimensiones del diseño se realizaron interpolaciones para gastos que sobrepasaban las matrices de costos de ESVAL, como lo es el caso de los costos asociados a bombas con gran altura de elevación, los cuales se analizan mediante un ajuste cuadrático de las potencias de las bombas (en kW), como se presenta a continuación.

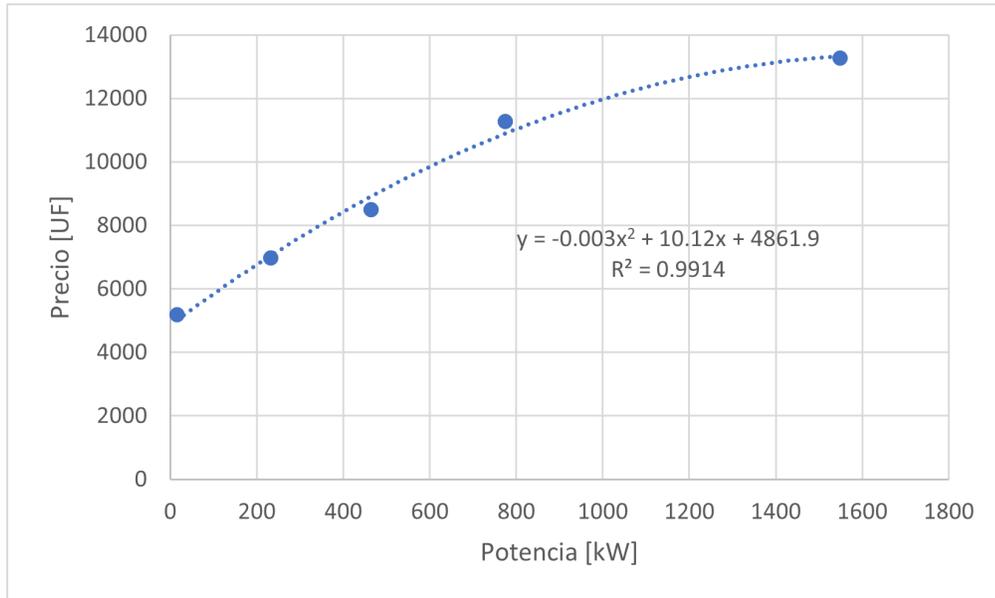


Figura 7.10: Ajustes de costos asociados a la potencia de las bombas.

Con respecto a las plantas de tratamientos, se analizan en base a PTAS de lodos activados de otras ciudades del país. Por lo tanto mediante un ajuste lineal que considera los costos y carga orgánica de cada planta.

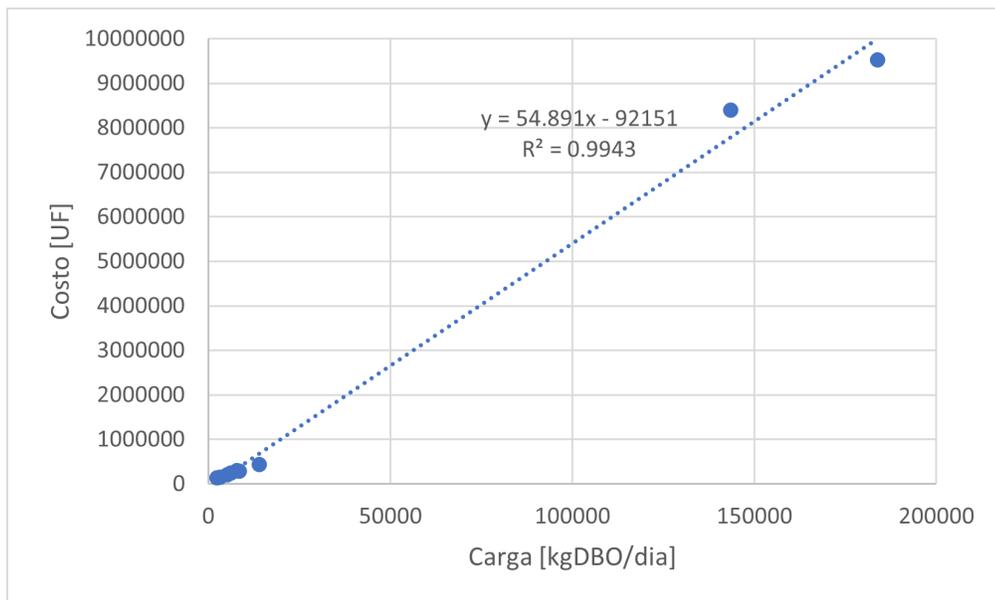


Figura 7.11: Ajustes de costos de inversión para PTAS de lodos activados.

Cabe destacar que los clientes de la empresa sanitaria que utilizan estos emisarios, pagan por la disposición al mar, por lo cual los costos adicionales que requiera una PTAS debe ser evaluado con la SISS para tomar medidas adicionales relativas a un posible aumento de costos.

Otros costos asociados a conducción, elevación y obras complementarias son obtenidos directamente de las matrices de costos sin cálculos adicionales.

### 7.3.2. Caso de estudio

Como se mencionó, la propuesta consiste en el intercambio de aguas servidas, provenientes de los emisarios Loma Larga y Dos Norte con un posterior tratamiento secundario para lograr calidades de reúso agrícola, por aguas crudas del río Aconcagua, específicamente de los canales Waddington y Ovalle (cabe destacar que la intervención por parte de la DGA en septiembre del 2021, señalaba dar a los canales Waddington y Ovalle un caudal de 1200 y 1600 l/s, respectivamente, para recargar el embalse Los Aromos (La Tercera, 2021b)) pertenecientes a la tercera sección del río, para almacenar aguas de uso potable en el embalse Los Aromos. Por lo tanto, se realiza el diseño de conducción, elevación y tratamientos, en base a la metodología descrita.

#### 7.3.2.1. Caudal de diseño

El caudal de diseño se calcula con la metodología presentada anteriormente, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7.4, es decir, un caudal total de 3,92 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 7.4: Caudal de diseño de aguas servidas para los emisarios Loma Larga y Dos Norte.

Emisario	Tributa	Localidad	Población hab	Pob. total hab	Qm m <sup>3</sup> /s	Harmon	Qmaxhor m <sup>3</sup> /s
Loma Larga	33 %	Quilpué	57426,07	436717,2	1,73	1,56	2,70
		Reñaca	9422,659				
	Villa Alemana	46414,46					
	Viña del Mar	82698,41					
	100 %	Valparaíso	240755,6				
Dos Norte	67 %	Quilpué	116592,3	397861,4	0,77	1,58	1,22
		Reñaca	19130,85				
		Villa Alemana	94235,42				
	Viña del Mar	167902,8					
	0 %	Valparaíso	0				

#### 7.3.2.2. Conducción

La conducción de las aguas servidas considera el transporte desde los emisarios Loma Larga y Dos Norte hasta la PTAS, donde se tratarían las aguas, y posteriormente al punto de entrega a los canalistas. Para ello se considera parte del camino la faja del acueducto Las Vegas, el cual tiene una longitud total de aproximadamente 76 kilómetros y considera túneles de sección 2,6 m x 2,6 m (ESVAL S.A., 2014), lo cual permite realizar excavaciones para la conducción de aguas servidas propuesta y dado a su recorrido permite la entrega de aguas servidas tratadas a un punto cercano de los canales Waddington y Ovalle.

Se analiza la conducción mediante 3 casos dependiendo del recorrido desde el emisario Loma Larga, los cuales se describen a continuación.

- Caso 1: utilizar el camino La Pólvora, realizando un túnel en el punto alto y continuando por la ruta 60 hasta conectar con el acueducto Las Vegas.
- Caso 2: Utilizar el camino La Pólvora continuando por la ruta 60 hasta conectar con el acueducto Las Vegas.

- Caso 3: Atravesar la ciudad de Valparaíso avanzar por la costanera y conectar con el final del Acueducto Las Vegas.

Para entender las rutas escogidas, en las Figuras 7.12 y 7.13 se presentan los mapas de conducción de los casos 1 y 2, en conjunto, y el caso 3.

Con respecto a la conducción de Dos Norte, se considera la conexión al punto más cercano al acueducto La Vegas hasta llegar a la PTAS. Cabe mencionar que no se realiza conexión a la tubería que trasporta el caudal de Loma Larga dada la presión existente en el punto más cercano. Por lo tanto, este recorrido, al igual que desde la PTAS hasta el estanque de almacenamiento, es el mismo para todos los casos.

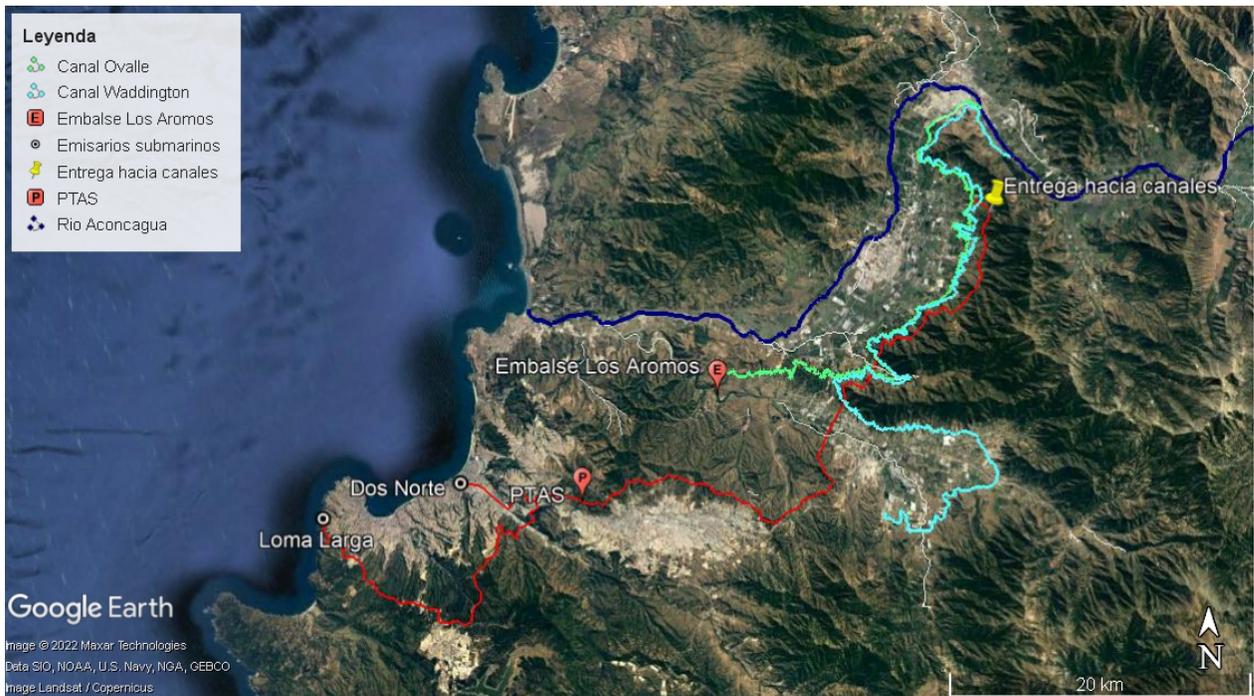


Figura 7.12: Trazado de conducción de aguas servidas rodeando Valparaíso.

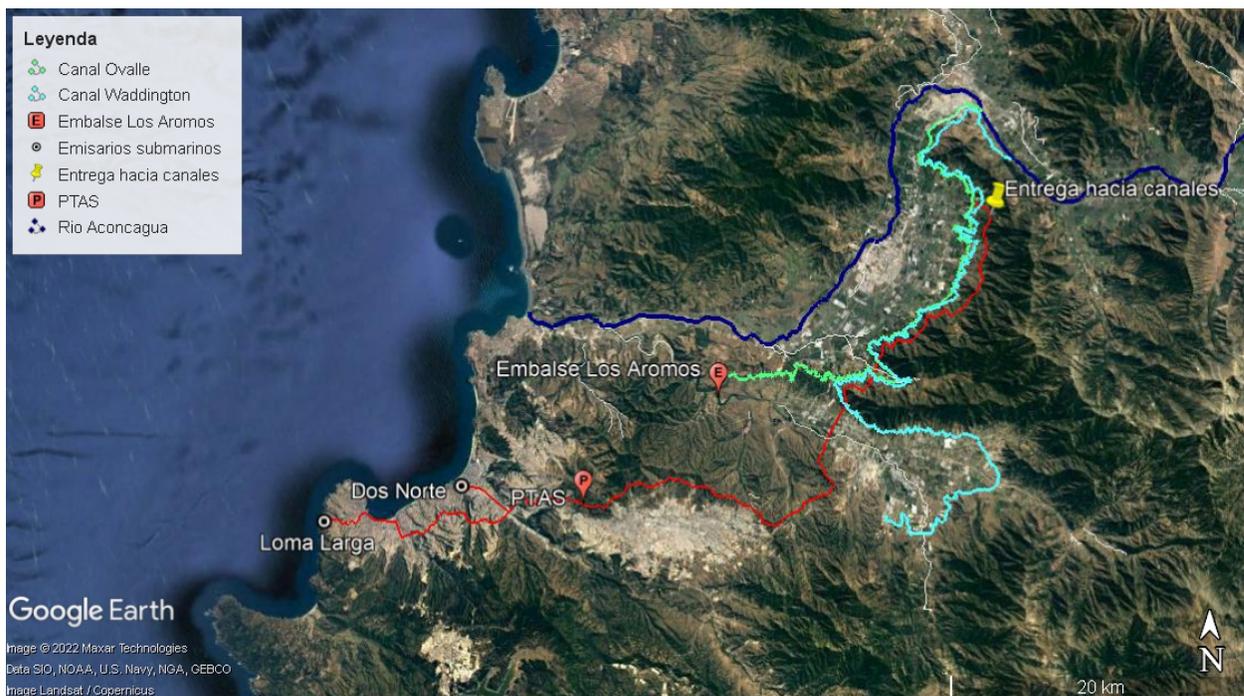


Figura 7.13: Trazado de conducción de aguas servidas por camino Valparaíso.

Cabe destacar que no existe conexión anterior entre las tuberías provenientes de Dos Norte y Loma Larga, ya que en su unión más directa, la tubería de Loma Larga alcanza su mayor punto de presión, por lo cual se decide conectar ambos caudales en la planta de tratamiento.

### 7.3.2.3. PEAS

Para el diseño de las plantas elevadoras de aguas servidas es necesario determinar las cargas asociadas al sistema, incluyendo pérdidas de carga, cotas piezométricas y presiones. Por lo tanto, en las Figuras 7.14, 7.15 y 7.16 se presentan los perfiles de los tres casos en estudio con sus respectivas tablas de información (Tablas 7.5, 7.6 y 7.7).

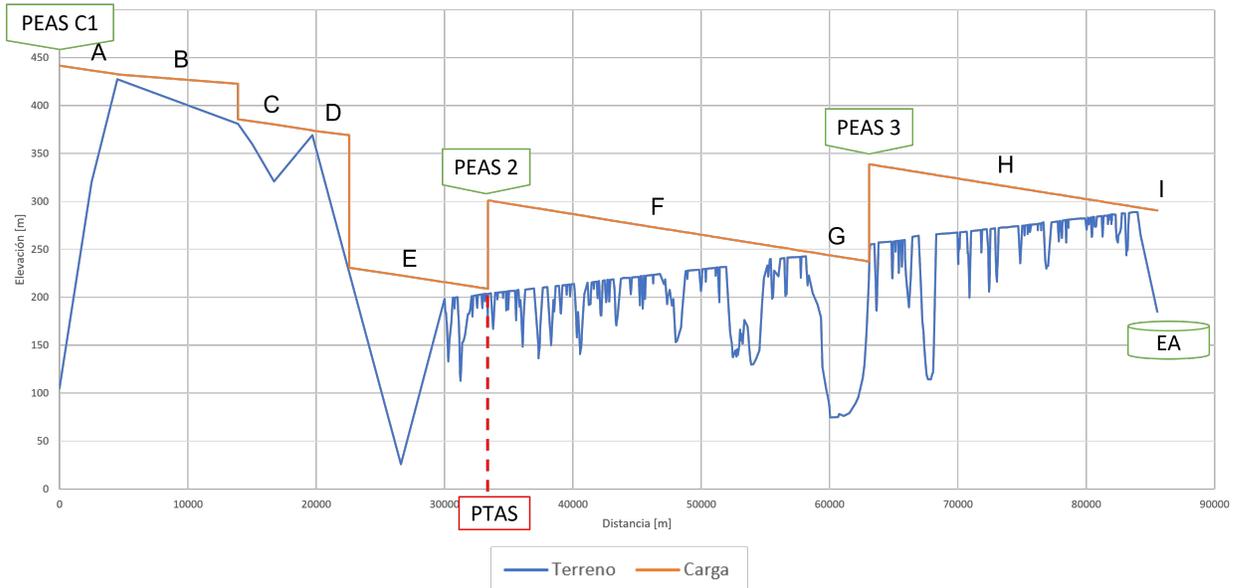


Figura 7.14: Perfil piezométrico del caso 1.

Tabla 7.5: Datos del diseño de la conducción para el caso 1.

Caso 1	Q [m <sup>3</sup> /s]	hb [m]	v [m/s]	Tirante [m]	
A	2,70	336,64	1,76	-	Presión
B	2,70	-	1,73	1,16	Acueducto
C	2,70	-	1,76	-	Presión
D	2,70	-	4,17 <sup>a</sup>	0,61	Acueducto
E	2,70	-	1,76	-	Presión
F	3,92	97,17	1,95	-	Presión
G	3,92	-	1,95	-	Presión
H	3,92	106,54	1,95	-	Presión
I	3,92	-	1,95	-	Presión

<sup>a</sup> Para situaciones donde la velocidad es mayor a la permitida, existe la opción de hacer caídas de aguas entre las cámaras de inspección.

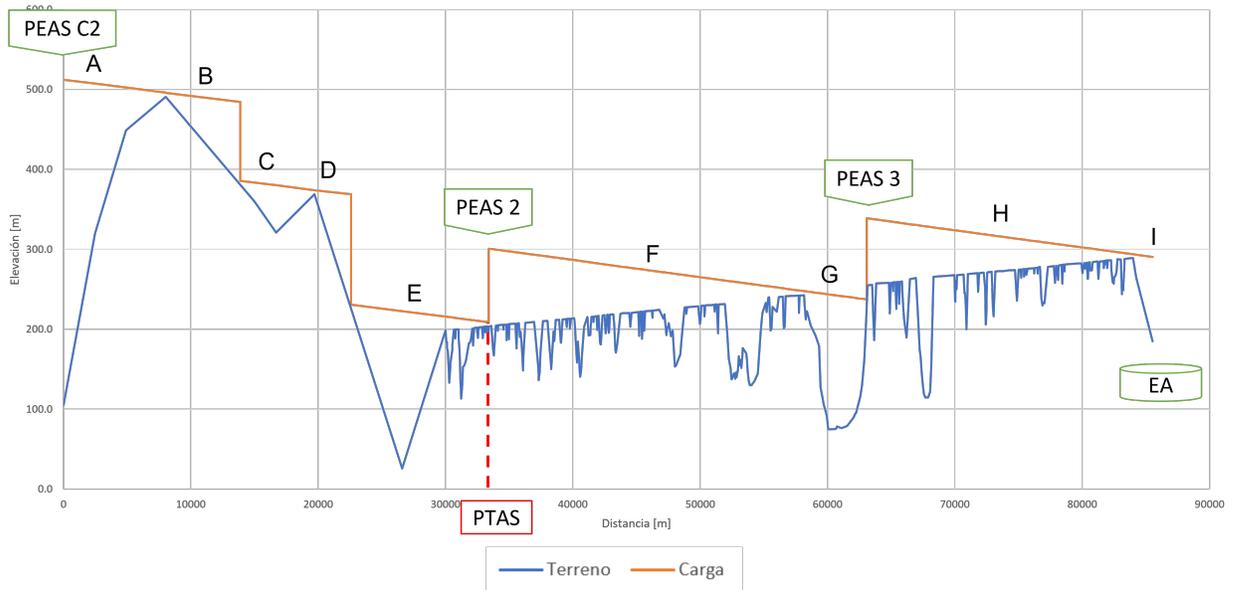


Figura 7.15: Perfil piezometrico del caso 2.

Tabla 7.6: Datos del diseño de la conducción para el caso 2.

Caso 2	Q [m <sup>3</sup> /s]	hb [m]	v [m/s]	Tirante [m]	
A	2,70	407,35	1,76	-	Presión
B	2,70	-	2,89	0,82	Acueducto
C	2,70	-	1,76	-	Presión
D	2,70	-	4,17 <sup>a</sup>	0,61	Acueducto
E	2,70	-	1,76	-	Presión
F	3,92	97,17	1,95	-	Presión
G	3,92	-	1,95	-	Presión
H	3,92	106,5	1,95	-	Presión
I	3,92	-	1,95	-	Presión

<sup>a</sup> Para situaciones donde la velocidad es mayor a la permitida, existe la opción de hacer caídas de aguas entre las cámaras de inspección.

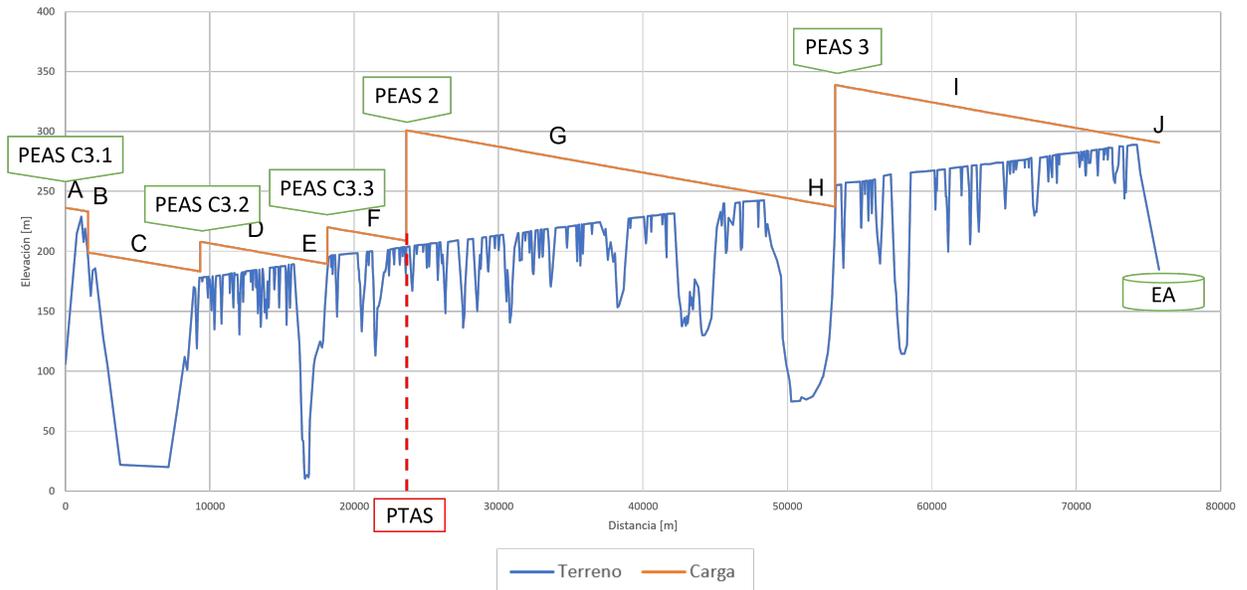


Figura 7.16: Perfil piezométrico del caso 3.

Tabla 7.7: Datos del diseño de la conducción para el caso 3.

Caso 3	Q [m <sup>3</sup> /s]	hb [m]	v [m/s]	Tirante [m]	
A	2,70	130,23	1,76	-	Presión
B	2,70	-	4,58 <sup>a</sup>	0,57	Acueducto
C	2,70	-	1,76	-	Presión
D	2,70	29,85	1,76	-	Presión
E	2,70	-	1,76	-	Presión
F	2,70	25,27	1,76	-	Presión
G	3,92	97,17	1,95	-	Presión
H	3,92	-	1,95	-	Presión
I	3,92	106,5	1,95	-	Presión
J	3,92	-	1,95	-	Presión

<sup>a</sup> Para situaciones donde la velocidad es mayor a la permitida, existe la opción de hacer caídas de aguas entre las cámaras de inspección. También en este caso se puede realizar un túnel para evitar un levantamiento de bomba mayor y la conducción en acueducto.

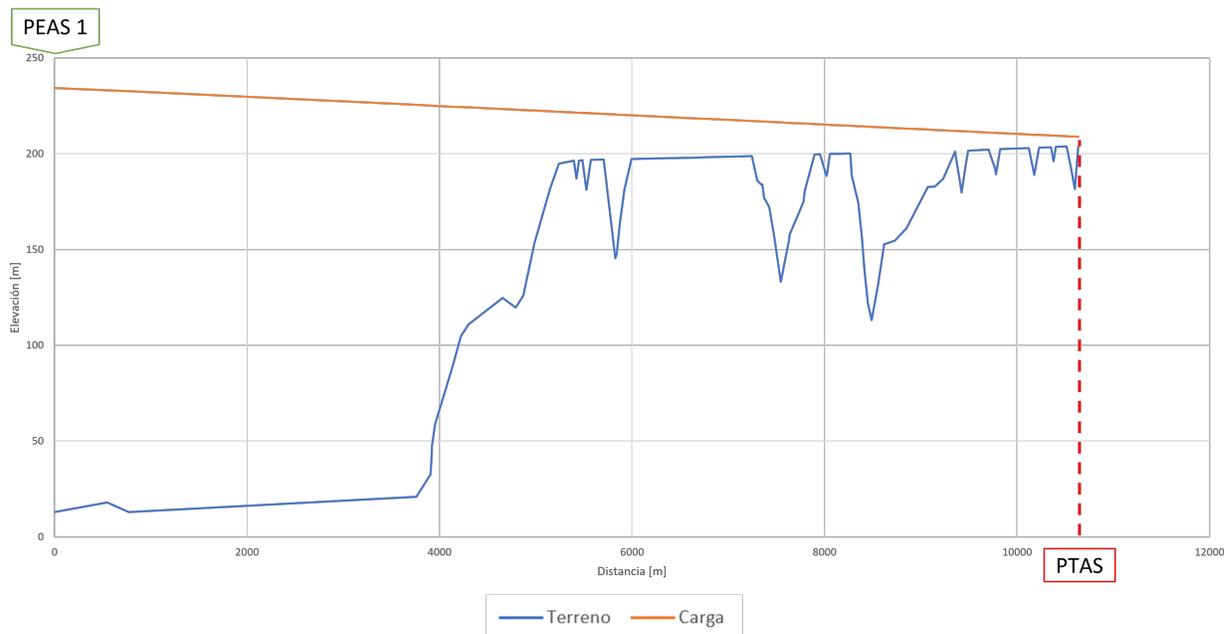


Figura 7.17: Perfil piezométrico de la conducción desde el emisario Dos Norte.

Tabla 7.8: Datos del diseño de la conducción de Dos Norte.

$Q$ [ $m^3/s$ ]	$hb$ [m]	$v$ [m/s]
1,22	221,33	1,55

Con respecto a longitud total de conducción de cada caso se presenta la Tabla 7.9, diferenciando las tuberías en presión y acueducto.

Tabla 7.9: Diámetros y longitud de proyecto.

Diámetro [mm]		Caso 1 [m]	Caso 2 [m]	Caso 3 [m]
1000	Presión	10755,2	10755,2	10755,2
	Acueducto	-	-	-
1400	Presión	21214,3	24745,2	23597,3
	Acueducto	2883,6	8745,7	469,3
1600	Presión	51348,5	51348,5	51348,5
	Acueducto	11054,8	1663,6	1663,6
<b>Total</b>		<b>97256,5</b>	<b>97258,3</b>	<b>87834,0</b>

Para los casos evaluados, se emplean las siguientes consideraciones:

- Altura hasta la clave de 3,2 metros y 3 en acueducto y presión, respectivamente, para los casos 1 y 2.
- Altura hasta la clave de 6,8 metros y 7 metros para el caso 3.
- Para los tramos en acueducto, se consideran cámaras de inspección con distancia de 150 metros entre ellas según la norma NCh 1105/2019.

- Aumento de espesor de las tuberías en zonas de mayor presión dentro de la tubería.
- Para las PEAS se realizan cámaras especiales adyacentes al acueducto Las Vegas.

En este contexto, con los datos obtenidos se calculan las bombas a utilizar para el sistema de impulsión de las PEAS, considerando  $n + 1$  bombas, es decir, con una bomba de reserva. En la Tabla 7.10 se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 7.10: Diseño de bombas y potencias para PEAS.

		Q [m <sup>3</sup> /s]	Hb [m]	N° de bombas	Potencia diseño [kW]	Potencia ESVAL [kW]	Potencia total [kW]
	<b>PEAS 1</b>	1,22	221,33	3+1	1098,41	8915,03	26745,09
<b>Caso 1</b>	<b>PEAS C1</b>	2,70	336,64	6+1	1857,14	9978,45	59870,69
<b>Caso 2</b>	<b>PEAS C2</b>	2,70	407,35	6+1	2247,21	10898,05	65388,32
	<b>PEAS C3,1</b>	2,70	130,23	6+1	718,44	1548,18	9289,10
<b>Caso 3</b>	<b>PEAS C3,2</b>	2,70	29,85	6+1	164,65	232,23	1393,36
	<b>PEAS C3,3</b>	2,70	25,27	6+1	139,38	232,23	1393,36
	<b>PEAS 2</b>	3,92	97,17	8+1	777,20	774,09	6192,73
	<b>PEAS 3</b>	3,92	106,54	8+1	852,12	1548,18	12385,47

#### 7.3.2.4. Estanques

En relación a los estanques, se consideran tres tipos: estanques de succión (ES), estanques de carga (EC) y estanques de almacenamiento (EA), donde los estanques de succión están asociados a las PEAS respectivas, es decir:

- ES 1 pertenece a la PEAS 1.
- EC corresponden al estanque de carga al termino de la primera impulsión, la etiqueta C1, C2 y C3 corresponde al caso respectivo.
- ES C3.n corresponden a los estanque de succión de las PEAS respectivas.
- ES PTAS 1 y 2 corresponde al estanque de entrada y salida de la PTAS.
- ES 2 pertenece a la PEAS 2.
- ES 3 pertenece a la PEAS 3.
- EA pertenece al estanque de almacenamiento final del proyecto, para ser entregado a los canales.

Por lo tanto, se calcula la capacidad necesaria de los estanques según el caudal conducido y tiempo de almacenamiento.

Tabla 7.11: Capacidad de los estanques de succión (EST), carga (EC) y almacenamiento (EA).

	<b>Estanque</b>	<b>Capacidad diseño [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Capacidad ESVAL [m<sup>3</sup>]</b>
	<b>ES 1</b>	365,0	400
<b>Caso 1</b>	<b>ES C1</b>	811,4	1000
	<b>EC C1</b>	811,4	1000
<b>Caso 2</b>	<b>ES C2</b>	811,4	1000
	<b>EC C2</b>	811,4	1000
<b>Caso 3</b>	<b>ES C3,1</b>	811,4	1000
	<b>ES C3,2</b>	811,4	1000
	<b>ES C3,3</b>	811,4	1000
	<b>EC C3</b>	811,4	1000
	<b>ES PTAS 1</b>	1176,4	2000
	<b>ES PTAS 2</b>	1176,4	2000
	<b>ES 2</b>	1176,4	2000
	<b>ES 3</b>	1176,4	2000
	<b>EA</b>	84698,4	8 x 11000

### 7.3.2.5. Tratamiento

Para el proyecto se escoge una PTAS de lodos activados, ya que cumple con el tratamiento necesario para obtener calidades de agua de tipo C y D, por lo que la Tabla 7.12 presenta información para su dimensionamiento (el diseño detallado de la PTAS de Lodos Activados queda propuesto para un estudio posterior).

Tabla 7.12: Datos de dimensionamiento para PTAS de Lodos Activados.

	<b>Proyecto</b>	<b>Unidad</b>
Población	834578,59	hab
Qmedio	2,50	m <sup>3</sup> /s
Qmaxhor	3,92	m <sup>3</sup> /s
Carga	46994,31	kgDBO/día

### 7.3.2.6. Costos

Finalmente, se obtienen los costos de los tres casos presentados, considerando costos directos e indirectos. A continuación, se presenta en la Tabla 7.13 los costos evaluados, las especificaciones de cada ítem se presentan en el Anexo D.

Cabe destacar que este estudio se realiza a modo de prefactibilidad, por lo cual es necesario evaluar posteriormente el impacto ambiental y social de este estudio.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> En el Anexo E se incluye un análisis de costos para los agricultores de la zona

Tabla 7.13: Costo total del proyecto según cada caso (porcentaje de costos indirectos asociados a obras especiales de la empresa ESVAL S.A., dado el tamaño del proyecto).

Ítem		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Bombas [UF]		43.440	44.360	55.277
Estanques [UF]		270.451	270.451	279.152
Tuberías en acueducto [UF]		547.594	370.623	88.434
Tuberías a presión [UF]		3.020.861	3.142.139	3.370.025
PTAS [UF]		2.487.414	2.487.414	2.487.414
<b>Total Costos directos [UF]</b>		<b>6.369.760</b>	<b>6.314.987</b>	<b>6.280.301</b>
Instalación de Faenas + Utilidad + Gastos Ge- nerales [UF]	39,68 %	2.527.521	2.505.787	2.492.024
Ingeniería [UF]	4,13 %	263.071	260.809	259.376
Inspección [UF]	4,92 %	313.392	310.697	308.991
<b>Total Costos indirectos [UF]</b>		<b>3.103.984</b>	<b>3.077.293</b>	<b>3.060.391</b>
<b>Total [UF]</b>		<b>9.473.745</b>	<b>9.392.280</b>	<b>9.340.692</b>
<b>Total [\$]</b>		<b>298.422.959.822</b>	<b>295.856.806.820</b>	<b>294.231.805.585</b>

# Capítulo 8

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

El balance hídrico actual muestra tres regiones sin agua y otras con gran presión hídrica, especialmente en la zona centro y norte del país, debido a que la demanda llega a superar la oferta disponible. Esta situación se acrecenta en la proyección a 15 años debido a los efectos del cambio climático, por lo que existen dos alternativas: el aumento de la oferta, si existen fuentes, o disminución/redistribución de la demanda. La primera la opción es más viable, ya que no afecta la realización de actividades económicas de la región, y es donde el reúso de aguas servidas presenta un gran potencial para las regiones con escasez hídrica.

Por lo tanto, es necesario realizar medidas urgentes de mitigación para las zonas centro y norte del país, ya que medidas preventivas no contuvieron esta crisis. Sin embargo, regiones desde el Maule al sur tienen la posibilidad de considerar la ejecución anticipada de proyectos preventivos y de mitigación, para resguardar y conocer el nuevo recurso hídrico que se estaría utilizando.

En este contexto, las aguas servidas tratadas llegan a paliar parte de la crisis hídrica de la zona centro y norte del país, como también aportan una nueva fuente de agua en las zonas sur y centro, siendo así una alternativa segura y constante a través del tiempo, especialmente con los emisarios submarinos y PTAS costeras, que se está perdiendo en el mar y no tienen ningún uso indirecto asociado. La cantidad de agua potencial a reutilizar, está asociado al crecimiento demográfico del sector costero, ya que es dependiente de la producción de agua potable de las zonas, lo que también implica el desarrollo de diferentes actividades económicas, y por ende, un aumento en la demanda de agua. Además, la utilización de las aguas provenientes de emisarios submarinos disminuiría el impacto ambiental que está recibiendo el mar, dado que ya no existiría dicha descarga y posteriormente se aumenta la calidad para ser utilizado en otro fin.

Por otro lado, con respecto a la demanda del agua, se destaca el sector agrícola que abarca aproximadamente el 70% de la demanda total. Debido a esto, el sector se ha tenido que adaptar a los constantes cambios provocados por la escasez, mediante, por ejemplo, la tecnificación del riego. De esta forma, las aguas servidas ingresan con un gran valor a un sector que ha visto disminuido sus aguas a procesos como el riego, más aun considerando que se trata de un caudal seguro y constante, con una calidad adaptable a las necesidades, ya que

se puede mejorar dada las tecnologías existentes y utilizadas en el país.

Debido a lo anterior, el reúso de aguas servidas en este sector agrícola tiene gran potencial de riego, ya que se podrían irrigar 18.293,34 hectáreas nuevas o existentes, superficie que puede aumentar hasta el doble con una eficiencia de riego mayor, dado un caudal de 9,15 m<sup>3</sup>/s de aguas servidas potenciales desde la región del BioBio+Ñuble hasta el norte.

Con respecto a la calidad de las aguas servidas tratadas para riego, según los criterios establecidos en el DS90 para ser descargadas en cuerpos fluviales sin dilución y lacustres, se pueden categorizar en las calidades tipo D o C de la norma NCh 3456/2, según la remoción final de sólidos suspendidos totales, por lo que ya es posible utilizarlas en proyectos de riego. Por lo tanto, el nuevo conjunto normativo llega a sugerir diversos tipos de calidades según distintos factores como: tipo de riego, cultivo y tratamiento.

El valor de las aguas servidas ha cambiado en el tiempo, siendo vista en un comienzo como un desecho que luego se transformó en una potencial fuente de aguas, es por ello que su valor trae consigo disputas por su dominio, sin embargo, en Chile no existe un marco legal preciso para este tema, por lo que no es posible adjudicar las aguas servidas como propiedad de alguna entidad. Aun así los puntos más relevantes de las diferentes posturas sobre la propiedad son:

- La SISS ha variado sus posturas ajustándose a su posición como ente normativo, por lo cual sostiene que las empresas sanitarias no poseen la propiedad ya que entregan un servicio público en base a una concesión sanitaria.
- Los clientes de las empresas sanitarias pagan el tratamiento de aguas servidas bajo el concepto de que son sus desechos y deben ser dispuestos a un medio ambiente libre de contaminación, además de ser el responsable mediante la ley 20920, sobre la responsabilidad extendida, por lo cual el que contamina paga.
- Las empresas sanitarias se adjudican el dominio debido a que se está utilizando su infraestructura por lo que se adquiere un dominio de ocupación (lo cual no lo convierte en derrame) y no existe obligación a restituir dichas aguas.
- Los canalistas discuten su propiedad de las aguas mediante una mirada histórica, en base a su permanente uso antes y después de las PTAS.

Debido a esto, actualmente el reúso de las aguas se realiza principalmente de forma indirecta por la descarga a un cuerpo de agua o mediante servicios no regulados por las sanitarias que han sido paulatinamente informado a la SISS y que debe aprobar para su ejecución. Por lo tanto, para la realización de proyectos de reúso es necesario tener claridad sobre el dominio de las aguas para tomar las medidas necesarias con respecto a ello, no obstante, existen alternativas que buscan enlazar estas tres posiciones como es el intercambio de agua, el cual fue el caso de estudio realizado en esta investigación.

En el caso de estudio en la región de Valparaíso, se identifica que la crisis hídrica ya se ha convertido en una situación cotidiana, con casi el total de sus comunas con decretos de escasez cada año, y sin medidas de mitigación apropiadas, lo cual ha comprometido el agua para consumo humano dada la disminución del volumen de los embalses de almacenamiento. Es por esto que la propuesta en estudio muestra que bajo un estudio de las problemáticas

de la zona, el intercambio de aguas servidas por aguas crudas introduce una nueva fuente de agua que permite beneficiar a todos lo involucrados, es decir, que los canalistas perciban un caudal contante durante el año, especialmente en temporada alta, donde suelen producirse los decretos de escasez y que el embalse de uso potable, tenga también un nuevo afluente en dicha temporada.

Por lo tanto, la calidad que provendrían de las aguas servidas tratadas, posterior a un tratamiento secundario de lodos activados, permitiría el riego de los cultivos. Si esta calidad se basa en la establecida en la norma de emisión DS90 para cuerpos fluviales sin dilución, se podría obtener una calidad tipo D y/o C, según las exigencias adicionales que puedan establecerse, es decir, calidad para cultivos no alimentarios como flores, plantas forrajeras y cultivos industriales de la región. Sin embargo, paltos y viñedos, cultivos principales de la zona, necesitarían aumentar la remoción de los contaminantes o incluir tratamiento superior que puede ser adjudicado al costos de los agricultores de dichos cultivos. Cabe destacar que la altura de estos frutales, cocción, tipo de piel y la utilización de un riego por goteo, forman parte de las barreras contra los contaminantes provenientes de las aguas servidas.

En base a los casos evaluados en la propuesta, el caso 1 presenta un mayor numero de tuberías en acueducto y con diámetro superior, lo cual eleva el costo de conducción. Por otro lado, el caso 2 presenta una altura de elevación superior al caso uno, lo cual aumenta el costo de bombeo y presenta una mayor conducción a presión. Por último el caso 3 presenta un mayor número de PEAS dada la topografía de la ciudad y un menor tramo de conducción, lo cual justifica su menor costo. En general, el costo no presenta grandes diferencias entre los casos evaluados, debido a que la mayor conducción se realiza de igual manera para los casos desde PTAS a la entrega a los canales, por lo tanto, la elección final queda bajo el criterio de estudio de una RCA, la cual deba identificar el caso con menor impacto ambiental y social.

Por lo tanto, el proyecto dependerá de la disposición y exigencias de los regantes para intercambiar sus aguas evaluando la constante falta de las mismas, costos adicionales producto a un mayor tratamiento y el tipo de financiamiento a realizar, el cual puede ser financiado mediante algún beneficio estatal que pudiera subsidiarlo, alternativa factible dado el objetivo del proyecto.

Además, con el aumento de las exigencias ambientales que se han presentado, como lo revisado en la actualización del DS90, es posible pensar en una futura y progresiva inhabilitación de los emisarios submarinos, así el tratamiento del proyecto se convertiría un costo del servicio sanitario y no de reúso, disminuyendo así el valor final un 40 %.

Finalmente, se concluye que existe factibilidad técnica para la realización de proyectos de riego, dada la infraestructura existente, sistemas de tratamientos, normativa relacionada y propuestas de reúso. La factibilidad legal depende de la propiedad de las aguas, ya que mientras no exista un avance legislativo sobre el tema, existirán problemas entre los involucrados. Por otra parte, el ámbito económico dependerá del usuario final, la necesidad de agua requerida y costo propuesto pagar, sin perder los beneficios que actualmente están percibiendo. En relación al ámbito social es necesario entregar la información necesaria a la población para la aceptación de las aguas reusadas e incentivar también las exigencias de calidad en las aguas servidas tanto para su descarga, como para su reúso en diversas actividades. Y en el ámbito

ambiental, disminuye la contaminación al mar con la eliminación emisarios submarinos y se cumplen parámetros de emisión para el agua entregada a los canales.

## Recomendaciones

Considerando que el déficit hídrico está afectando regiones de la macrozona sur del país, se recomienda un análisis más detallado de la realidad hídrica de cada región, con el fin de identificar la locación de la oferta y demanda de agua para proponer alternativas de mitigación del déficit hídrico específico para cada región. Priorizando el consumo humano, especialmente en zonas donde la disponibilidad de agua es nula.

También, se recomienda incluir políticas de información a la sociedad para la aceptación de las aguas servidas como recurso hídrico e implementar de medidas preventivas en regiones que aún no sufre problemas de escasez de forma que las aguas servidas sean percibidas desde temprano como una fuente de agua más que un desecho, teniendo así un sistema circular de aguas.

Dentro de marco legal que envuelve la propiedad de las aguas, es necesario un pronunciamiento oficial y legislativo para definir el destino de las aguas servidas y poder implementar proyectos de reúso o incluir los posibles interesados en dicho derecho de propiedad como el caso de estudio propuesto. Especialmente, referente a las aguas servidas provenientes de emisarios submarinos, que es la fuente principal para el reúso de aguas servidas y que queda fuera de los pronunciamientos de la SISS sobre reúso. Cabe destacar, que en los cambios que se están realizando al Código de aguas y temas de aguas de la nueva Constitución, pueden considerar temas de propiedad de aguas de aguas servidas en un marco de cambio climático.

Si bien las normas de calidad de aguas como NCh 1333 es conocida y aceptada a nivel nacional sigue siendo voluntaria al igual que la nueva normativa sobre reúso, por lo que se recomienda la generación de normativa aún más específica sobre reúso, de tal forma que pueda ser obligatoria y así tener control y fiscalización segura para la salud y medio ambiente, especialmente para proyectos con contacto directo o riego con alto riesgo de contaminación.

Finalmente, incentivar al estudio y creación de proyectos de reúso que permitan identificar problemáticas y soluciones a niveles locales, como falta de agua en alguna localidad y utilizar aguas grises para riego de jardines o llenado de inodoros, y a escala macro, como el proyecto propuesto. Por otro lado, avanzar en tecnologías de tratamientos de aguas eficientes y accesibles para proyectos a diferentes escalas.

# Bibliografía

- Acosta, O. (2019). Evaluación de proyecto de una carretera hídrica nacional – fase 1: disponibilidad de aguas, demanda potencial y disposición a pago. *XXI Jornadas de Derecho y Gestión de Aguas Seguridad Hídrica para Chile, Santiago, 5 de septiembre de 2019*.
- Aguas Andinas. (2003). *Proyecto Planta La Farfana - Obras de conducción de agua tratada hacia Canal Rinconada*.
- Aguas Andinas. (2013a). *Auditoría ambiental independiente etapa de operación del proyecto Planta de tratamiento de aguas servidas La Farfana* (Vol. 38).
- Aguas Andinas. (2013b). *Reporte de sustentabilidad 2013* (Inf. Téc.).
- Aguas Andinas. (2019). *Reporte integrado 2019* (Inf. Téc.).
- Aguas Andinas. (2020a). *Auditoría ambiental independiente etapa de operación del proyecto Planta de tratamiento de aguas servidas La Farfana* (Vol. 64).
- Aguas Andinas. (2020b). *Reporte integrado 2020* (Inf. Téc.).
- AIDIS. (2016). Edición especial: Reúso de aguas servidas tratadas. Fortalezas y debilidades. El costo de no reusar.
- Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B. E., y Tchobanoglous, G. (2018). Water reuse: From ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science*, 6(MAY). doi: 10.3389/fenvs.2018.00026
- ARCADIS. (2016). *Plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos , región de Antofagasta*.
- Ayers, R., y Wastco, D. (1987). La calidad del agua en la agricultura. *FAO Riego y Drenaje, Rev.1*(29).
- Baeza Gómez, E. (2018). Sequía y Escasez Hídrica: conceptos relacionados, situación actual y experiencia comparada en varios países para abordar el problema. (56).
- Ballivian Searle, P. 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. (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.-a). *Guía de Formación Cívica - El Poder Legislativo, La Ley* [https://www.bcn.cl/formacioncivica/detalle\\_guia?h=10221.3/45762](https://www.bcn.cl/formacioncivica/detalle_guia?h=10221.3/45762), recuperado el 20 de octubre de 2021.
- BCN. (s.f.-b). *Hidrografía Región de Valparaíso*, <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/hidrografia.htm>, recuperado el 22 de febrero de 2022.
- BCN. (s.f.-c). *Tipos de Normas Jurídicas* [https://www.bcn.cl/ecivica\\_restringido/tnormas](https://www.bcn.cl/ecivica_restringido/tnormas), recuperado el 20 de octubre de 2021.
- 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.
- Clínica Jurídica. (2020). *Diferencias entre ley y norma en el derecho* <https://clinica-juridica.com/diferencias-entre-ley-y-norma/>.
- CNR. (2004). Diagnóstico actual de la utilización de aguas servidas tratadas en riego, región Metropolitana.
- CNR. (2014). Estudio básico diagnóstico de la eficiencia de aplicación del riego en Chile : informe ejecutivo. Realizado por G & A Consultores.
- CNR. (2017). *Instructivos para obras de tecnificación*.
- CONAGUA. (2018). Estadísticas del Agua en México, Edición 2018.
- Confederación de Canalistas Chile. (2008). *Cuenta sobre actividades de la Confederación de Canalistas de Chile, Periodo 01.01.2008 al 31.12.2008*.
- Confederación de Canalistas Chile. (2011). *Cuenta sobre actividades de la Confederación de Canalistas de Chile, Periodo 01.01.11 al 31.12.11*.
- CR2. (2015). *Informe a la Nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*.
- CR2. (2020). *¿Qué ocurre en Chile, sequía o escasez hídrica?*
- Crocco, J. J. (2021). Megasequía: Diagnóstico, impactos y propuestas. *Puntos de referencia*, 559.
- CSIRO. (2020). Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos. , 1.
- DGA. (1993). Catastro General de Usuarios de la 3. Sección Río Aconcagua V Región. *Ley de transparencia de información*.
- DGA. (2014). Pronóstico De Disponibilidad De Agua Temporada De Riego 2014-2015. , 53(9), 1689–1699.
- DGA. (2016). *Atlas del Agua Chile 2016*.
- DGA. (2017). *Actualización del Balance Hídrico Nacional*.
- DGA. (2017). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile*.
- 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. (2019c). Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. En *Boletín diciembre 2019*.
- DGA. (2020). Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. En *Boletín diciembre 2020*.
- DGA. (2021a). *Decreto de Escasez Hídrica y continúa intervención en Tercera Sección del Río Aconcagua*, <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=781>.
- DGA. (2021b). *Embalse Aromos muy cerca de la meta*, <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=803>.
- DGA. (2021c). *Embalse Los Aromos reinició su recarga tras intervención de la DGA*, <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=795>.
- DGA. (2021). Pronóstico de Caudales de Deshielo Temporada de Riego 2020-2021. , 1–31.
- DGA. (2022). Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. En *Boletín febrero 2022*.
- DIAGua. (2019). *Desarrollo de un Modelo Regulatorio-Institucional-Financiero que Viabilice*

*el Reúso de las Aguas Residuales en Chile.*

- Díaz De Valdés Balbontín, J. (2015). *Aguas servidas. Análisis jurídico de su dominio y uso* (Vol. N° 5).
- Dingemans, M. M. L., Smeets, P. W. M. H., Medema, G., Frijns, J., Raat, K. J., van Wezel, A. P., y Bartholomeus, R. P. (2020). Responsible water reuse needs an interdisciplinary approach to balance risks and benefits. *Water*, 12(1264).
- Dirección de aguas España. (2020). Fomento de la reutilización de las aguas residuales. Informe complementario.
- ECONSSA S.A. (2013). *Sistema de disposición final de las aguas servidas de Antofagasta.*
- ECONSSA S.A. (2016). Reúso de aguas servidas tratadas Agosto de 2016.
- ECONSSA S.A. (2019). *Planta de reúso de AS Salar del Carmen* <https://www.econssachile.cl/proyectos/planta-de-reuso-de-as-salar-del-carmen>.
- Emol. (2021a). *DGA revierte decisión de intervenir en Río Aconcagua: Fedefruta dice que fue una medida tomada sin información debida*, <https://cutt.ly/WSnKcH2>.
- Emol. (2021b). *Técnicamente no estudiada y apresurada: Gremios del agro rechazan decisión de la DGA de intervenir el Río Aconcagua*, <https://www.emol.com/noticias/Economia/2021/10/07/1034816/gremios-intervencion-aconcagua.html>.
- EPA. (2012). *2012 Guidelines for water reuse.*
- EPA. (2019). Appendix G : Selected International Profiles. *Draft National Water Reuse Action Plan.*
- Escenarios Hídricos 2030. (2018). *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile.* Fundación Chile, Santiago, Chile.
- Escenarios Hídricos 2030. (2019). *Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile.* Fundación Chile, Santiago, Chile.
- 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/>, recuperado el 22 de febrero de 2022.
- ESVAL S.A. (2014). Modelamiento y valorización de obras especiales. *Periodo 2015-2020.*
- FAO. (2013). *Buenas prácticas tecnológicas.*
- FAO. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura : ¿Beneficios para todos?*
- FAO. (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe.*
- Fundación Chile. (2016). *Aguas residuales como nueva fuente de agua. Diagnóstico del potencial reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso.*
- Fundación Chile. (2018). *Claves para la gestión de aguas residuales rurales. Primera planta de reúso de aguas tratadas en la Región de Coquimbo, una experiencia replicable.*
- García, J. (2010). *Experiencias en prácticas de manejo de aguas servidas para la producción agrícola en pequeña escala.*
- Global Footprint Network. (2021). *The water footprint of a country and of each citizen* [https://www.overshootday.org/newsroom/country-overshoot-days/?utm\\_content=128972151&utm\\_medium=social&utm\\_source=twitter&hss\\_channel=tw-48441185](https://www.overshootday.org/newsroom/country-overshoot-days/?utm_content=128972151&utm_medium=social&utm_source=twitter&hss_channel=tw-48441185).
- INE. (2007). VII Censo nacional agropecuario y forestal.
- INN. (s.f.). prNCh3435: Actividades de servicio relacionadas con sistemas de suministro de agua potable, aguas residuales y agua pluvial - Vocabulario.
- INN. (s.f.). *Taxonomía* <https://www.inn.cl/taxonomy/term/11>, recuperado el 20 de octubre de 2021.
- INN. (1978). NCh1333: Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.

- INN. (2019a). NCh03456/04: Directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de riego — Parte 4: Seguimiento.
- INN. (2019b). NCh03483: 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. (2020a). NCh3465:Reúso de aguas en áreas urbanas - Directrices para el reúso y evaluación de seguridad- Métodos y parámetros para su evaluación.
- INN. (2020b). NCh 3482: 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. (2021d). 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.
- INN. (2021e). NCh3674: Reúso de agua- Vocabulario.
- INN. (2021f). NCh3678/1: Directrices para la evaluación del desempeño de tecnologías de tratamiento para sistemas de reutilización de agua – Parte 1: Generalidades.
- INN. (2021g). NCh3678/2: Directrices para la evaluación del desempeño de tecnologías de tratamiento para sistemas de reúso de agua - Parte 2: Metodología para evaluar el desempeño de sistemas de tratamiento en base a emisiones de efecto invernadero.
- INN. (2021h). prNCh3452: Reúso de aguas residuales tratadas para riego - Directrices para la adaptación de sistemas y prácticas de riego a aguas residuales tratadas.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico. *Boletín: Agua y Saneamiento*, 9, 68.
- Institute for Economics & Peace Institute. (2020). Ecological Threat Register 2020: Understanding Ecological Threats, Resilience and Peace.
- Jaramillo, A. (2021). Revisión de la norma de emisión de descargas residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (D.S. 90/2000). *Asociación interamericana de ingeniería sanitaria y ambiental*.
- 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 Science Data*, 13(2), 237–254. doi: 10.5194/essd-13-237-2021
- Junta de Vigilancia de la Última Sección del Río Mapocho, y SISS. (2004). *Sentencias de 2004, 29 Juzgado Civil de Santiago, 9 de agosto de 2004 (Rol 994-2003)*.
- Kassa, M., y Andualem, T. G. (2020). Review of irrigation practice in Ethiopia, lessons from Israel. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 9(1), 1–6.
- Kiperwas, H. R. (2021). Closing the Water Cycle - Water Reuse in Israel Israel.
- Kumar, A., y Goyal, K. (2020). Global Perspectives on Water Reuse: North America and India. *Journal - American Water Works Association*, 112. doi: 10.1002/awwa.1596
- La Tercera. (2021a). *Gobierno limita riego de más de cuatro mil agricultores para evitar racionamiento de agua potable en Valparaíso*, <https://>

[www.latercera.com/la-tercera-pm/noticia/gobierno-limita-riego-de-mas-de-4-mil-agricultores-para-evitar-rationamiento-de-agua-potable-en-valparaiso/KRBIZHP77NARDKMDZHNIYMFJQC/](http://www.latercera.com/la-tercera-pm/noticia/gobierno-limita-riego-de-mas-de-4-mil-agricultores-para-evitar-rationamiento-de-agua-potable-en-valparaiso/KRBIZHP77NARDKMDZHNIYMFJQC/).

- La Tercera. (2021b). *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/>, recuperado el 12 de marzo de 2022.
- Ley Chile. (s.f.). *Acerca de Ley Chile* <https://www.leychile.cl/leychile/acerca-de-ley-chile>, recuperado el 20 de octubre de 2021.
- Libertad y Desarrollo. (2019). *Una mirada integral al sector sanitario*. ISSN 0717-1528 N° 1410 - 2.
- Libhaber, M., y Orozco-Jaramillo, Á. (2015). *Sustainable Treatment and Reuse of Municipal Wastewater: For Decision Makers and Practicing Engineers*. doi: 10.2166/9781780400631
- López, R. (2016). Conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para. *Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapedial para el sur de Chile*, Boletín INIA N° 340.
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., y Jiao, W. (2016). Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 39(December). doi: 10.1016/j.jes.2015.11.012
- Martínez, J. (2018). *Plan de saneamiento y mejora de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica CUL-DE-SAC, Haití*.
- Méndez, D. (2019). Reutilización: Sostenibilidad del ciclo integral del agua.
- Metcalf y Eddy. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (n.º 7).
- Metcalf y Eddy. (2007). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización* (3ª ed. ed.).
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2017). *Plan Nacional Climático 2017 2022*.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2021). Resolución 1475 Exenta. Anteproyecto de la revisión del decreto supremo N°90 de 2000. (2020).
- Ministerio del Medio Ambiente(MMA). (2020). Tercer Informe del estado del Medio Ambiente (IEMA) 2020: Aguas Continentales.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2000). D.S. 90 Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2002). D.S. 46 Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*.
- MOP. (2020). *Mesa nacional del agua. Primer informe*.
- OCDE. (2017). *Wastewater treatment*.
- ODEPA. (2018). *Agricultura chilena: Reflexiones y desafíos al 2030*.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*, 36.
- OPECH. (s.f.). *La Normativa Legal del Derecho Chileno* <http://www.opech.cl/legislativo/normativachileno.html>, recuperado el 20 de octubre de 2021.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). *Directrices para el uso seguro de aguas residuales, orina y aguas grises: Aspectos normativos y regulatorios* (Volumen 1 ed.).
- 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*

- de las aguas servidas tratadas, Santiago, 26 de agosto de 2021.*
- Peralta, F. (2021). La opinión de las organizaciones de usuarios de agua. *Seminario AIDIS 2021: Mirada y análisis de la propiedad de las aguas servidas tratadas, Santiago, 26 de agosto de 2021.*
- Peralta Anabalón, D. (2021). El régimen de las aguas servidas tratadas en Chile. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas [WWAP]. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado.* (Vol. 8) (n.º 18).
- Radcliffe, J. C., y Page, D. (2020). Water reuse and recycling in Australia — history, current situation and future perspectives. *Water Cycle*, 1(May), 19–40. doi: 10.1016/j.watcyc.2020.05.005
- Rodríguez, C., Veas, M., Del Piano, C., Vicuña, S., Donoso, G., y Barton, J. (2015). *Desafíos en agua y energía en regiones mineras desérticas.*
- Salas Montes, P., y ESSAN. (1996). *Corte Suprema, 26 marzo 1996 (Rol 191-96), que confirma sentencia Corte de Apelaciones de Antofagasta, de 26 diciembre 1995 (Rol 9943-95).*
- Salas Montes, P., y MOP. (1998). *Corte Suprema, 12 febrero 1998 (rol 3464-97), que confirma sentencia Corte de Santiago, 30 septiembre 1997 (rol 832-97).*
- Sandoval, L. (2003). *Cultivo de hortalizas con aguas residuales tratadas.*
- Sepúlveda, R., Leiva, A., Cornejo, P., y Vidal, F. (2020). Salinización de suelos agrícolas por el reúso de aguas servidas tratadas. *Serie Comunicacional CRHIAM.*
- Sheikh, B., Nelson, K. L., Haddad, B., y Thebo, A. (2018). Grey water: Agricultural use of reclaimed water in California. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 165(1), 28–41. doi: 10.1111/j.1936-704x.2018.03291.x
- Shoushtarian, F., y Negahban-Azar, M. (2020). Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: A critical review. *Water (Switzerland)*, 12(4). doi: 10.3390/W12040971
- Silva, J., Torres, P., y Madera, C. (2008). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347–359.
- SISS. (2015). Ord N° 1041. Informe de reúso de aguas servidas tratadas.
- SISS. (2019). *Informe de gestión del sector sanitario.*
- SISS. (2021). Solicitud de información de volúmenes, calidad y tratamiento de aguas servidas. *Ley de transparencia de información.*
- Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). (2020). *Ficha del Proyecto: Nueva Planta de Tratamiento de Agua Servidas para reúso de Antofagasta.*
- Sistema Nacional de información de recursos hídricos (SNIRH). (2018). *Compendio nacional de estadísticas de recursos hídricos* (Vol. 53) (n.º 9).
- SONAMI. (2018). *Informe consumo de agua en minería 2018.*
- Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (2020). Estudio sectorial de servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2019.
- Superintendencia del Medio Ambiente. (2018). Informe técnico de fiscalización ambiental inspección ambiental compañía contractual minera candelaria dfz-2018-2128-iii-rca-ia.
- Takeuchi, H., y Tanaka, H. (2020). Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives. *Water Cycle*, 1(May), 1–12. doi: 10.1016/j.watcyc.2020.05.001
- UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás.*

- Vergara Blanco, A. (2020). Aguas servidas tratadas contenidas en instalaciones sanitarias: Su naturaleza jurídica. *Revista Derecho Administrativo Económico*(32), 85–118. doi: 10.7764/redae.32.4
- Vidal, G., y Araya, F. (2014). *Las Aguas servidas y su depuración en zonas rurales: Situación actual y desafíos*.
- Vidal, G., Calisto, G., y Acosta, O. (2021). Proceso de consulta ciudadana del anteproyecto de la revisión del decreto supremo N°90. *Webinar, Santiago, 14 de abril del 2021*.
- Water Footprint Network. (2021). *Country overshoot days* <https://www.waterfootprintassessmenttool.org/national-explorer/>.
- Zamorano, G. (2021). Reúso de aguas servidas tratadas. *Seminario Reúso de las aguas residuales, AIDIS*.

# Anexos

# Anexo A

## Tipos de normas jurídicas

Dentro del conjunto de normas jurídicas que forman parte de la legislación chilena, se pueden distinguir distintos tipos de normas jurídicas, las cuales han sido establecidas por algún órgano del Estado y poseen diversos rangos de importancia, es decir, un ordenamiento jurídico establecido. En este contexto, se presenta una breve descripción de los distintos tipos de normas jurídicas (Ley Chile, s.f.; BCN, s.f.-a, s.f.-c; OPECH, s.f.):

- **Constitución Política:** Es la Ley fundamental del Estado, establece la forma de gobierno, los poderes públicos, sus atribuciones y determina los derechos y garantías de los ciudadanos.
- **Ley:** Es una declaración de la voluntad soberana que, manifestada en la forma prescrita por la Constitución, manda, prohíbe o permite. Aprobadas por el Poder Legislativo de carácter abstracto, general y obligatorio. Se pueden distinguir los siguientes tipos de ley:
  - Ley que interpreta preceptos constitucionales: precisan o explican el sentido y alcance de un precepto o una expresión de la Constitución Política de la República
  - Ley orgánica constitucional: normas complementarias de la Constitución relativas a ciertas materias expresamente previstas en el texto constitucional.
  - Ley de quorum calificado y simple: tratan sobre materias señaladas en la Constitución.
  - Ley ordinaria o comunes: regulan aspectos de la vida social que la Constitución define como materia de leyes.
- **Decreto con Fuerza de Ley:** Son normas jurídicas de rango legal, dictadas por el Presidente de la República en virtud de una autorización que le es conferida por el Congreso Nacional a través de una ley.
- **Decreto Ley:** Son normas dictadas por el Presidente de la República sobre materias propias de Ley, sin autorización alguna del Congreso Nacional, dictadas en gobiernos de facto o en períodos de anormalidad constitucional.
- **Reglamento:** Son normas generales, obligatorias, abstractas y dictadas por parte de un órgano distinto del Poder Legislativo. En general, los reglamentos complementan el ordenamiento jurídico existente, especificando y detallando las normas legales

Otro documento de conocimiento y uso público es la norma, la cual es aprobado por consenso y por un organismo reconocido. La norma establece, para usos comunes y repetidos, reglas, criterios o características para las actividades o sus resultados y procura la obtención de un nivel óptimo de ordenamiento en un contexto determinado (INN, s.f.). Las normas se tienen relación con las leyes, ya que la ley representa el sentido formal de una norma establecida. Mientras que una norma establece un estándar de conducta general, una ley hace que esa facultad sea cumplida de manera estricta (Clínica Jurídica, 2020).

Es importante mencionar que las normas técnicas son de carácter voluntario, lo cual las diferencia de los reglamentos técnicos que son obligatorios, de acuerdo al Código para la Elaboración de Normas Técnicas de la Organización Mundial de Comercio (OMC). También, existe la diferenciación entre una norma chilena y una norma chilena oficial, donde la primera es un documento cuyo estudio a nivel de Comité Técnico ha finalizado y ha sido aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización (INN), mientras que la segunda ha sido aprobada por un Ministerio. Las cuales se deben cumplir de forma obligatoria cuando son citadas en algún tipo reglamentación (resolución, decreto o ley) (INN, s.f.).

En el caso de que una norma se base en una norma internacional, es necesario la citación con un comité técnico, que adapte la norma a la realidad nacional u otros parámetros que el comité estime conveniente. Por lo que el proceso de realización de normativas esta a cargo del INN, el cual debe seguir los siguientes pasos para la elaboración de una nueva norma (INN, s.f.):

- Anteproyecto de norma (no obligatorio)
- Consulta pública
- Formación de comité técnico
- Reuniones del comité técnico
- Aprobación del proyecto de norma por parte del Consejo INN

# Anexo B

## PTAS costeras y Emisarios submarinos

Tabla B.1: PTAS costeras y emisarios submarinos seleccionados.

Región	PTAS costeras m3/S		Emisarios submarinos m3/s	
Arica y Parinacota			ES - Chinchorro Norte	0,40
Tarapacá	Alto Hospicio	0,15	Barrio Industrial (Punta Negra)	0,15
			Playa Brava	0,43
Antofagasta	Lodos Antofagasta	0,11	Gran Antofagasta	0,80
			Mejillones	0,01
			Tal Tal	0,03
			Tocopilla	0,04
Atacama	Caldera	0,06	Chañaral	0,02
	Freirina	0,01	Huasco	0,01
Coquimbo	Algarrobito	0,001	Coquimbo	0,42
	Canela Alta	0,0005	La Serena	0,49
	Canela Baja	0,002	Los Vilos	0,03
Valparaíso	Cachagua	0,003	Algarrobo	0,05
	La Laguna	0,01	Cartagena	0,08
	Papudo	0,01	Concon	0,08
	Santo Domingo	0,02	Dos Norte	0,77
	Zapallar	0,004	El Tabo	0,05
	Placilla V	0,09	Higuerillas	0,05
	Puchuncaví	0,01	Loma Larga	1,73
			Quintero	0,06
			San Antonio	0,20
Metropolitana	-	-	-	-
O'Higgins	Pichilemu	0,04		

Región	PTAS costeras m3/S	Emisarios submarinos m3/s		
Maule	Chanco	0,01		
	Constitución	0,09		
	Curanipe	0,00		
	Pelluhue	0,01		
	Putú	0,00		
	Curepto	0,00		
	Empedrado	0,01		
	Licanten	0,01		
Bío Bío + Ñuble	PTAS - Cobquecura	0,002	ES - Coronel Norte	0,11
	PTAS - Coelemu	0,02	ES - Coronel Sur	0,11
	PTAS - Arauco	0,06	ES - Lebu	0,06
	PTAS - Dichato	0,01	ES - Lota	0,09
	PTAS - Gran Concepción	1,12	ES - Penco	0,10
	PTAS - Parque Industrial Coronel	0,12	ES - San Pedro	0,21
	PTAS - Punta Parra	0,002	ES - San Vicente	0,34
	PTAS - Cañete	0,03	ES - Tomé	0,08
	PTAS - Contulmo	0,01		
	PTAS - Curanilahue	0,06		
	PTAS - Hualqui	0,03		
	PTAS - Los Alamos	0,03		
	PTAS - Santa Juana	0,02		
	Araucanía	PTAS - Nueva Toltén	0,01	
PTAS - Puerto Saavedra		0,01		
PTAS - Carahue		0,02		
Los Ríos	PTAS - Corral	0,01		
	PTAS - Valdivia	0,36		
	PTAS - Mafil	0,01		
Los Lagos	PTAS - Ancud	0,09	ES - Achao	0,01
	PTAS - Castro	0,07	ES - Puerto Montt	0,80
	PTAS - Chonchi	0,01		
	PTAS - Dalcahue	0,01		
	PTAS - Maullín	0,01		
	PTAS - Quellón	0,04		
	PTAS - Chinguio	0,00		
	PTAS - Panitao	0,00		
	PTAS - Chaitén	0,01		
	PTAS - La Vara	0,01		
	PTAS - Los Muermos	0,03		
Aysén	PTAS - Puerto Chacabuco	0,004		
	PTAS - Puerto Aysén	0,03		
Magallanes	PTAS - Puerto Natales	0,09	ES - Porvenir	0,03
			ES - Punta Arenas	0,36

# Anexo C

## Parámetros de calidad del agua

La evaluación de la calidad de agua es de gran importancia para los diversos usos y aplicaciones posteriores, por lo cual es necesario analizar diferentes parámetros, índices y relaciones, englobados en el tratamiento de aguas servidas, para obtener los rangos admisibles según se emplee. A continuación se presenta un listado de la clasificación de los parámetros que se exponen en el Capítulo 6, tanto en la caracterización de las aguas servidas como los presentes en las normas asociadas.

Tabla C.1: Listado de parámetros asociados a la medición de calidad de aguas servidas

Tipo	Parámetros
Físicos	Transparencia
	Temperatura
	Turbidez
	Color
	Olor
Microbiológicos	Coliformes totales
	Estreptococos fecales
	Coliformes fecales
Químicos	Iones (bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio)
	Oxígeno disuelto
	Demanda bioquímica de oxígeno
	Carbono orgánico
	Nitrógenos
	Fosfatos
	Hierro
	Sabor
Temperatura	
Conductividad eléctrica	
pH	
Demanda bioquímica de oxígeno	
Fenoles	
Derivados del petróleo	
Detergentes	
Pesticidas	
Fósforo orgánico e inorgánico	
Metales pesados	
Fluoruros	

Tabla C.2: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales sin y con capacidad de dilución del receptor. Fuente: DS 90/2000.

Contaminante	Unidad	Expresión	Límite máximo permitido Sin dilución	Límite máximo permitido Con dilución
Aceites y grasas	mg/l	A y G	20	50
Aluminio	mg/l	Al	5	10
Arsénico	mg/l	As	0,5	1
Boro	mg/l	B	0,75	3
Cadmio	mg/l	Cd	0,01	0,3
Cianuro	mg/l	CN-	0,2	1
Cloruros	mg/l	Cl-	400	2000
Cobre total	mg/l	Cu	1	3
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100ml	1000	1000
Índice de Fenol	mg/l	Fenoles	0,5	1
Cromo Hexavalente	mg/l	Cr6+	0,05	0,2
DBO5	mg O2/L	DBO5	35	300
Fósforo	mg/l	P	10	5
Fluoruro	mg/l	F-	1,5	15
Hidrocarburos fijos	mg/l	HF	10	50
Hierro disuelto	mg/l	Fenoles	5	10
Manganeso	mg/l	Mn	0,3	3
Mercurio	mg/l	Hg	0,001	0,01
Molibdeno	mg/l	Mo	1	2,5
Níquel	mg/l	Ni	0,2	3
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	NKT	50	75
Pentaclorofenol	mg/l	C6OHCl5	0,009	0,01
PH	Unidad	pH	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Plomo	mg/l	Pb	0,05	0,5
Poder espumógeno	mm	PE	7	7
Selenio	mg/l	Se	0,01	0,01
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SS	80	300
Sulfatos	mg/l	SO42-	1000	2000
Sulfuros	mg/l	S2-	1	10
Temperatura	C°	T°	35	40
Tetracloroteno	mg/l	C2Cl4	0,04	0,4
Tolueno	mg/l	C6H5CH3	0,7	7
Triclorometano	mg/l	CHCl3	0,2	0,5
Xileno	mg/l	C6H4C2H6	0,5	5
Zinc	mg/l	Zn	3	20

Tabla C.3: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustre. Fuente: DS 90/2000.

Contaminante	Unidad	Expresión	Límite máximo permitido
Aceites y grasas	mg/l	A y G	20
Aluminio	mg/l	Al	1
Arsénico	mg/l	As	0,1
Cadmio	mg/l	Cd	0,02
Cianuro	mg/l	CN-	0,5
Cobre total	mg/l	Cu	0,1
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100ml	1000-70
Índice de Fenol	mg/l	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/l	Cr6+	0,2
Cromo total	mg/l	Cr Total	2,5
DBO5	mg O2/L	DBO5	35
Estaño	mg/l	Sn	0,5
Fluoruro	mg/l	F-	1
Fósforo	mg/l	P	2
Hidrocarburos fijos	mg/l	HF	5
Hierro disuelto	mg/l	Fenoles	2
Manganeso	mg/l	Mn	0,5
Mercurio	mg/l	Hg	0,005
Molibdeno	mg/l	Mo	0,07
Níquel	mg/l	Ni	0,5
Nitrogeno Total	mg/l	NKT	10
PH	Unidad	pH	6,0 - 8,5
Plomo	mg/l	Pb	0,2
SAAM	mg/l	SAAM	10
Selenio	mg/l	Se	0,01
Sólidos sedimentables			5
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SS	80
Sulfatos	mg/l	SO42-	1000
Sulfuros	mg/l	S2-	1
Temperatura	C°	T°	30
Zinc	mg/l	Zn	5

Tabla C.4: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro y fuera a la zona de protección del litoral. Fuente: DS 90/2000.

Contaminante	Unidad	Expresión	Límite máximo permitido Dentro ZPL	Límite máximo permitido Fuera ZPL
Aceites y grasas	mg/l	A y G	20	150
Aluminio	mg/l	Al	1	10
Arsénico	mg/l	As	0,2	0,5
Cadmio	mg/l	Cd	0,02	0,5
Cianuro	mg/l	CN-	0,5	1
Cobre	mg/l	Cu	1	3
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100ml	1000-70	
Índice de Fenol	mg/l	Fenoles	0,5	1
Cromo Hexavalente	mg/l	Cr6+	0,2	0,5
Cromo total	mg/l	Cr Total	2,5	10
DBO5	mg O2/L	DBO5	60	
Estaño	mg/l	Sn	0,5	1
Fluoruro	mg/l	F-	1,5	6
Fósforo	mg/l	P	5	
Hidrocarburos totales	mg/l	HCT	10	20
Hidrocarburos volátiles	mg/l	HCV	1	2
Hierro disuelto	mg/l	Fenoles	10	
Manganeso	mg/l	Mn	2	4
Mercurio	mg/l	Hg	0,005	0,02
Molibdeno	mg/l	Mo	0,1	0,5
Níquel	mg/l	Ni	2	4
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	NKT	50	
PH	Unidad	pH	6,0 - 9,0	5,5 - 9,0
Plomo	mg/l	Pb	0,2	1
SAAM	mg/l	SAAM	10	15
Selenio	mg/l	Se	0,01	0,03
Sólidos sedimentables	mg/l	SSED	5	20
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SS	100	300
Sulfuros	mg/l	S2-	1	5
Zinc	mg/l	Zn	5	5
Temperatura	C°	T°	30	

Tabla C.5: Límites Máximos Permitidos para Descargar Residuos Líquidos en Condiciones de Vulnerabilidad Media. Fuente: DS46/2002.

<b>Contaminante</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permitidos</b>
<b>Indicadores Físico y Químicos</b>		
pH		6,0 - 8,5
<b>Inorgánicos</b>		
Cianuro	mg/l	0,20
Cloruros	mg/l	250
Fluoruro	mg/l	1,5
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/l	10
Sulfatos	mg/l	250
Sulfuros	mg/l	1
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/l	10
Benceno	mg/l	0,01
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Tolueno	mg/l	0,7
Triclorometano	mg/l	0,2
Xileno	mg/l	0,5
<b>Metales</b>		
Aluminio	mg/l	5
Arsénico	mg/l	0,01
Boro	mg/l	0,75
Cadmio	mg/l	0,002
Cobre	mg/l	1
Cromo Hexavalente	mg/l	0,05
Hierro	mg/l	5
Manganeso	mg/l	0,3
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	1
Níquel	mg/l	0,2
Plomo	mg/l	0,05
Selenio	mg/l	0,01
Zinc	mg/l	3
<b>Nutrientes</b>		
Nitrogeno total Kjeldahl		10

Tabla C.6: Límites Máximos Permitidos para Descargar Residuos Líquidos en Condiciones de Vulnerabilidad Baja. Fuente: DS46/2002.

<b>Contaminante</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permitidos</b>
<b>Indicadores Físico y Químicos</b>		
pH		6,0 - 8,5
<b>Inorgánicos</b>		
Cianuro	mg/l	0,20
Cloruros	mg/l	250
Fluoruro	mg/l	5
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/l	15
Sulfatos	mg/l	500
Sulfuros	mg/l	5
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/l	10
Benceno	mg/l	0,01
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Tolueno	mg/l	0,7
Triclorometano	mg/l	0,2
Xileno	mg/l	0,5
<b>Metales</b>		
Aluminio	mg/l	20
Arsénico	mg/l	0,01
Boro	mg/l	3
Cadmio	mg/l	0,002
Cobre	mg/l	3
Cromo Hexavalente	mg/l	0,2
Hierro	mg/l	10
Manganeso	mg/l	2
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	2,5
Níquel	mg/l	0,5
Plomo	mg/l	0,05
Selenio	mg/l	0,02
Zinc	mg/l	20
<b>Nutrientes</b>		
Nitrogeno total Kjeldahl		15

Tabla C.7: Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable. Fuente: FAO, 1987.

<b>Sensibles PSI &lt; 15</b>	<b>Semitolerantes 15 &lt; PSI &lt; 40</b>	<b>Tolerantes PSI &gt; 40</b>
Palta ( <i>Persea americana</i> )	Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> )	Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> )
Frutas caducifolias	Trébol ladino ( <i>Trifolium repens</i> )	Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> )
Nueces	Pato miel, gramalote ( <i>Paspalum dilatatum</i> )	Remolacha hornamental ( <i>Beta vulgaris</i> )
Frijoles ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	Fetusca alta ( <i>Festuca arundinacea</i> )	Remolacha azucarera ( <i>Beta vulgaris</i> )
Algodón (germinación) ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )	Zacate Bermuda ( <i>Cynodon dactylon</i> )
Maíz ( <i>Zea mays</i> )	Mijo ( <i>pennisetum typhoides</i> )	Algodón ( <i>Gossypium hirsutum</i> )
Arveja ( <i>Pisum sativum</i> )	Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	Capín, hierba de Pará ( <i>Brachiaria mutica</i> )
Toronja ( <i>Citrus paradisi</i> )	Bersim, trébol de Alejandría ( <i>Trifolium alexandrinum</i> )	Zacate Rhodes ( <i>Chloris gayana</i> )
Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	Meliloto, trébol dulce ( <i>Melilotus parviflora</i> )	Agropiro crestado ( <i>Agropyron cristatum</i> )
Durazno ( <i>Prunus persica</i> )	Mostaza ( <i>Brassica juncea</i> )	Agropiro alargado ( <i>Agropyron elongatum</i> )
Mandarina ( <i>Citrus reticulata</i> )	Avena ( <i>Avena sativa</i> )	Zacate Carnal ( <i>Diplachna fusca</i> )
Frijol chino ( <i>Phaseolus aureus</i> )	Rábano ( <i>Raphanus sativus</i> )	
Lenteja ( <i>Lens culinaris</i> )	Arroz ( <i>Oriza sativa</i> )	
Maní ( <i>Arachis hypogaea</i> )	Centeno ( <i>Secale cereale</i> )	
Garbanzo ( <i>Cicer arietinum</i> )	Gramma de centeno ( <i>Lolium multiflorum</i> )	
Caupíes ( <i>Vigna sinensis</i> )	Sorgo ( <i>Sorghum vulgare</i> )	
	Espinaca ( <i>Spinacea oleracea</i> )	
	Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	
	Veza ( <i>Vicia sativa</i> )	
	Trigo ( <i>Triticum vulgare</i> )	

Tabla C.8: Tolerancia relativa al boro de algunos cultivos. Fuente: FAO, 1987.

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
<b>Muy sensibles (&lt; 0.5 mg/l)</b>		<b>Moderadamente sensibles (1.0 – 2.0 mg/l)</b>	
Limonero	Citrus limon	Ajíes	Capsicum annum
Zarzamora	Rubís spp.	Arveja	Pisum sativa
<b>Sensibles (0.5 – 0.75 mg/l)</b>		Zanahoria	Daucus carota
Palta	Persea americana	Rábano	Raphanus sativus
Toronja	Citrus X paradisi	Papa	Solanum tuberosum
Naranja	Citrus sinensis	Pepino	Cucumis sativus
Albaricoquero	Prunus armeniaca	<b>Moderadamente tolerantes (2.0 – 4.0 mg/l)</b>	
Melocotonero	Prunus persica	Lechuga	Lactuca sativa
Cerezo	Prunus avium	Repollo	Brassica oleracea capitata
Ciruelo	Prunus domestica	Apio	Apium graveolens
Caqui	Diospyros kaki	Nabo	Brassica rapa
Higuera	Picus carica	Pasto azul	Poa pratensis
Vid	Vitis vinifera	Avena	Avena sativa
Nogal	Juglans regia	Maíz	Zea mays
Pecana	Carya illinoensis	Alcachofa	Cynara acolymus
Caupíes	Vigna unguiculata	Tabaco	Nicotiana tabacum
Cebolla	Allium cepa	Mostaza	Brassica juncea
<b>Sensibles (0.75 – 1.0 mg/l)</b>		Trébol dulce	Melilotus indica
Ajo	Allium sativum	Calabaza, zapallo	Cucurbita pepo
Camote	Ipomoea batatas	Melón	Cucumis melo
Trigo	Triticum aestivum	<b>Tolerantes (4.0 – 6.0 mg/l)</b>	
Cebada	Hordeum vulgare	Sorgo	Sorghum bicolor
Girasol	Helianthus annus	Tomate	Lycopersicon esculentum
Frijol chino	Vigna radiata	Alfalfa	Medicago sativa
Ajonjolí	Sesamum indicum	Veza	Vicia benghalensis
Lupino, altramuz	Lupinus hartwegii		
Fresa	Fragaria spp.		
Alcachofa	Helianthus tuberosus		
Frijol	Phaseolus vulgaris		
Vainitas	Phaseolus lunatus		
Maní	Arachis hypogaea		

Tabla C.9: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego. Fuente: NCh 1333.

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>NCh 1333 Límite Máx riego</b>
Aluminio (Al)	mg/l	5
Arsénico (As)	mg/l	0,1
Bario (Ba)	mg/l	4
Berilio (Be)	mg/l	0,1
Boro (B)	mg/l	0,75
Cadmio (Cd)	mg/l	0,01
Cianuro (CN-)	mg/l	0,2
Cloruro (Cl-)	mg/l	200
Cobalto (Co)	mg/l	0,05
Cobre (Cu)	mg/l	0,2
Cromo (Cr)	mg/l	0,1
Fluoruro (F-)	mg/l	1
Hierro (Fe)	mg/l	5
Litio (Li)	mg/l	2,5
Manganeso (Mn)	mg/l	0,2
Mercurio (Hg)	mg/l	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,01
Niquel (Ni)	mg/l	0,2
Plata (Ag)	mg/l	0,2
Plomo (Pb)	mg/l	5
Selenio (Se)	mg/l	0,02
Sodio porcentual (Na)	%	35
Sulfato (SO4=)	mg/l	250
Vanadio (V)	mg/l	0,1
Zinc (Zn)	mg/l	2

Tabla C.10: Clasificación de agua para riego según salinidad. Fuente: NCh 1333.

Clasificación	Conductividad específica, c, mhos/cm a 25 °C	Sólidos disueltos totales, s, mg/l a 105 °C
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 cuidadoso	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

Tabla C.11: Ejemplo de niveles máximos de factores de salinidad en ART utilizadas para riego de acuerdo con la sensibilidad del cultivo. Fuente: NCh 3456/1

Parámetro	Unidades	Sensibilidad del cultivo							
		Sensible		Moderadamente sensible		Moderadamente tolerante		Tolerante	
		Media aritmética mensual	Medición de valor único máximo	Media aritmética mensual	Medición de valor único máximo	Media aritmética mensual	Medición de valor único máximo	Media aritmética mensual	Medición de valor único máximo
Conductividad eléctrica	dS/m	1,4	1,8	2,0	2,6	4,0	5,2	6,0	7,8
Cloruro	mg/L	250	280	400	440	1000	1100	1400	1500
Boro	mg/L	0,4	0,5	1,0	1,3	2,0	2,6	4,0	5,2
Sodio	mg/L	150	200	-	-	-	-	-	-

Tabla C.12: Clasificaciones de climas utilizando el índice de aridez (IA). Fuente: NCh 3456/1.

Clima	Valor IA	Precipitación anual	Variabilidad interanual de la lluvia	Comentario
Hiperárido	$IA < 0,05$	-	$< 100\%$	Déficit anual de humedad
Árido	$0,05 < IA < 0,20$	$< 200\text{ mm}$		
Semiárido	$0,20 < IA < 0,50$	$< 800\text{ mm}$ (en verano) $< 500\text{ mm}$ (en invierno)	50 % a 100 %	
Seco subhúmedo	$0,50 < IA < 0,65$	Alta precipitación estacional	$< 25\%$	
Húmedo	$0,65 < IA < 1,00$	Alta precipitación	-	
	$1,00 < IA$			Excedente de humedad anual
Montaña fría	-	-	-	Demasiado frío para que los cultivos crezcan

Tabla C.13: Problemas asociados con el almacenamiento de aguas residuales en reservorios abiertos y estrategias de manejo. Fuente: NCh 3456/3.

Problemas	Estrategias de manejo
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estratificación de la temperatura</li> <li>- Bajo contenido de oxígeno disuelto</li> <li>- Liberación de olores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación de instalaciones de aireación - mezcladoras sumergidas o de superficie o bombas de recirculación</li> <li>- El mantenimiento de concentraciones elevadas de oxígeno (redox positivo) a través de la columna de agua y principalmente en la interfaz de agua del sedimento evitará que el fósforo ingrese al agua</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sedimentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dragado periódico mecánico o hidráulico de sedimentos acumulados (cada uno a cinco años)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crecimiento excesivo de algas y zooplancton</li> <li>- Reducción del reciclaje interno de fósforo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mezcla adecuada de aguas residuales para mejorar la foto oxidación de materia orgánica inducida por la luz solar</li> <li>- Adición de alguicidas químicos. El sulfato de cobre no se debería usar debido a los efectos de toxicidad asociados con la acumulación de cobre (la sobredosis tiene impactos adversos en el ecosistema del yacimiento)</li> <li>- Mantenimiento de peces que comen algas y zooplancton. Adición de tintes químicos para reducir la penetración de la luz solar, así como el crecimiento de algas</li> <li>- Biomanipulación del zooplancton (en reservorios poco profundos)</li> <li>- Emisiones ultrasónicas colocadas en el embalse abierto</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto contenido de sólidos en suspensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La eliminación de sólidos en suspensión depende del tamaño de las partículas y del tiempo de residencia, por lo que se debería tener en cuenta estos factores al diseñar los tanques de almacenamiento</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microorganismos de recrecimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de desinfectante residual</li> <li>- Disminución del tiempo de residencia</li> <li>- Mejora de la calidad de almacenamiento e instalaciones</li> <li>- Aislar y desinfectar sitios problemáticos en tuberías</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de insectos, especialmente mosquitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pulverización de insecticidas adecuados</li> <li>- Métodos mecánicos como mantener el agua en movimiento.</li> <li>- Controles biológicos como los larvicidas naturales y el uso de larvas que comen peces</li> <li>- Mantener los bancos recortados</li> </ul>

Tabla C.14: Problemas asociados con el almacenamiento de aguas residuales en reservorios cerrados y estrategias de manejo. Fuente: NCh 3456/3.

<b>Problemas</b>	<b>Estrategias de manejo</b>
-Estancamiento de aguas residuales	Recirculación de aguas residuales (bombeo y configuración de tuberías de entrada y salida que promueven la recirculación de agua) Mantener concentraciones elevadas de oxígeno (redox positivo) a través de la columna de agua y especialmente en la interfaz de agua del sedimento ayudará a evitar que el fósforo ingrese a la columna de agua y la mantenga atrapada en el sedimento
- Bajo contenido de oxígeno disuelto - Liberación de olores	Aireación (dispositivos de aireación)
- Pérdida de residuos desinfectantes - Recrecimiento de microorganismos	Gestión adecuada del régimen operativo en los embalses

# Anexo D

## Datos de Valparaíso

Tabla D.1: Uso de suelo, provincia de Los Andes.

Categoría uso de suelo	Superficie [ha]	Porcentaje
Áreas Desprovistas de Vegetación	118967,95	39 %
Áreas Urbanas e Industriales	4590,63	2 %
Bosque	23284,41	8 %
Cuerpos de Agua	550,26	0 %
Humedales	3841,56	1 %
Nieves eternas y graciare	39794,01	13 %
Praderas y Matorrales	97671,58	32 %
Terrenos Agrícolas	16959,51	6 %
<b>Total</b>	<b>305659,91</b>	<b>100 %</b>

Tabla D.2: Uso de suelo, provincia de Marga Marga.

Categoría uso de suelo	Superficie [ha]	Porcentaje
Áreas Desprovistas de Vegetación	1895,6	2 %
Áreas Urbanas e Industriales	10454,43	9 %
Bosque	65619,93	57 %
Cuerpos de Agua	623,5	1 %
Humedales		0 %
Nieves eternas y graciare		0 %
Praderas y Matorrales	28433,94	25 %
Terrenos Agrícolas	8768,2	8 %
<b>Total</b>	<b>115795,6</b>	<b>100 %</b>

Tabla D.3: Uso de suelo. provincia de Petorca.

<b>Categoría uso de suelo</b>	<b>Superficie [ha]</b>	<b>Porcentaje</b>
Áreas Desprovistas de Vegetación	36950,77	8 %
Áreas Urbanas e Industriales	6418,87	1 %
Bosque	189081,71	41 %
Cuerpos de Agua	918,85	0 %
Humedales	2199,2	0 %
Nieves eternas y graciare	78,56	0 %
Praderas y Matorrales	193452,97	42 %
Terrenos Agrícolas	30525,52	7 %
<b>Total</b>	<b>459626,45</b>	<b>100 %</b>

Tabla D.4: Uso de suelo, provincia de Quillota.

<b>Categoría uso de suelo</b>	<b>Superficie [ha]</b>	<b>Porcentaje</b>
Áreas Desprovistas de Vegetación	2274,45	2 %
Áreas Urbanas e Industriales	4565,25	4 %
Bosque	48057,55	43 %
Cuerpos de Agua	99,75	0 %
Humedales		0 %
Nieves eternas y graciare		0 %
Praderas y Matorrales	24791,94	22 %
Terrenos Agrícolas	31580,46	28 %
<b>Total</b>	<b>111369,4</b>	<b>100 %</b>

Tabla D.5: Uso de suelo, provincia de San Antonio.

<b>Categoría uso de suelo</b>	<b>Superficie [ha]</b>	<b>Porcentaje</b>
Áreas Desprovistas de Vegetación	2808,39	2 %
Áreas Urbanas e Industriales	10234,78	7 %
Bosque	65547,12	43 %
Cuerpos de Agua	1806,18	1 %
Humedales	1187,93	1 %
Nieves eternas y graciare		0 %
Praderas y Matorrales	44218,13	29 %
Terrenos Agrícolas	25947,9	17 %
<b>Total</b>	<b>151750,43</b>	<b>100 %</b>

Tabla D.6: Uso de suelo. provincia de San Felipe.

<b>Categoría uso de suelo</b>	<b>Superficie [ha]</b>	<b>Porcentaje</b>
Áreas Desprovistas de Vegetación	64321,71	24 %
Áreas Urbanas e Industriales	4310,14	2 %
Bosque	64623,81	25 %
Cuerpos de Agua	47,72	0 %
Humedales	2446,84	1 %
Nieves eternas y graciare	12417,46	5 %
Praderas y Matorrales	76995,17	29 %
Terrenos Agrícolas	38552,03	15 %
<b>Total</b>	<b>263714,88</b>	<b>100 %</b>

Tabla D.7: Uso de suelo, provincia de Valparaíso.

<b>Categoría uso de suelo</b>	<b>Superficie [ha]</b>	<b>Porcentaje</b>
Áreas Desprovistas de Vegetación	2520,81	1 %
Áreas Urbanas e Industriales	17930,71	9 %
Bosque	97383,61	51 %
Cuerpos de Agua	1218,05	1 %
Humedales	175,24	0 %
Nieves eternas y graciare		0 %
Praderas y Matorrales	49046,44	26 %
Terrenos Agrícolas	22575,08	12 %
<b>Total</b>	<b>190849,94</b>	<b>100 %</b>

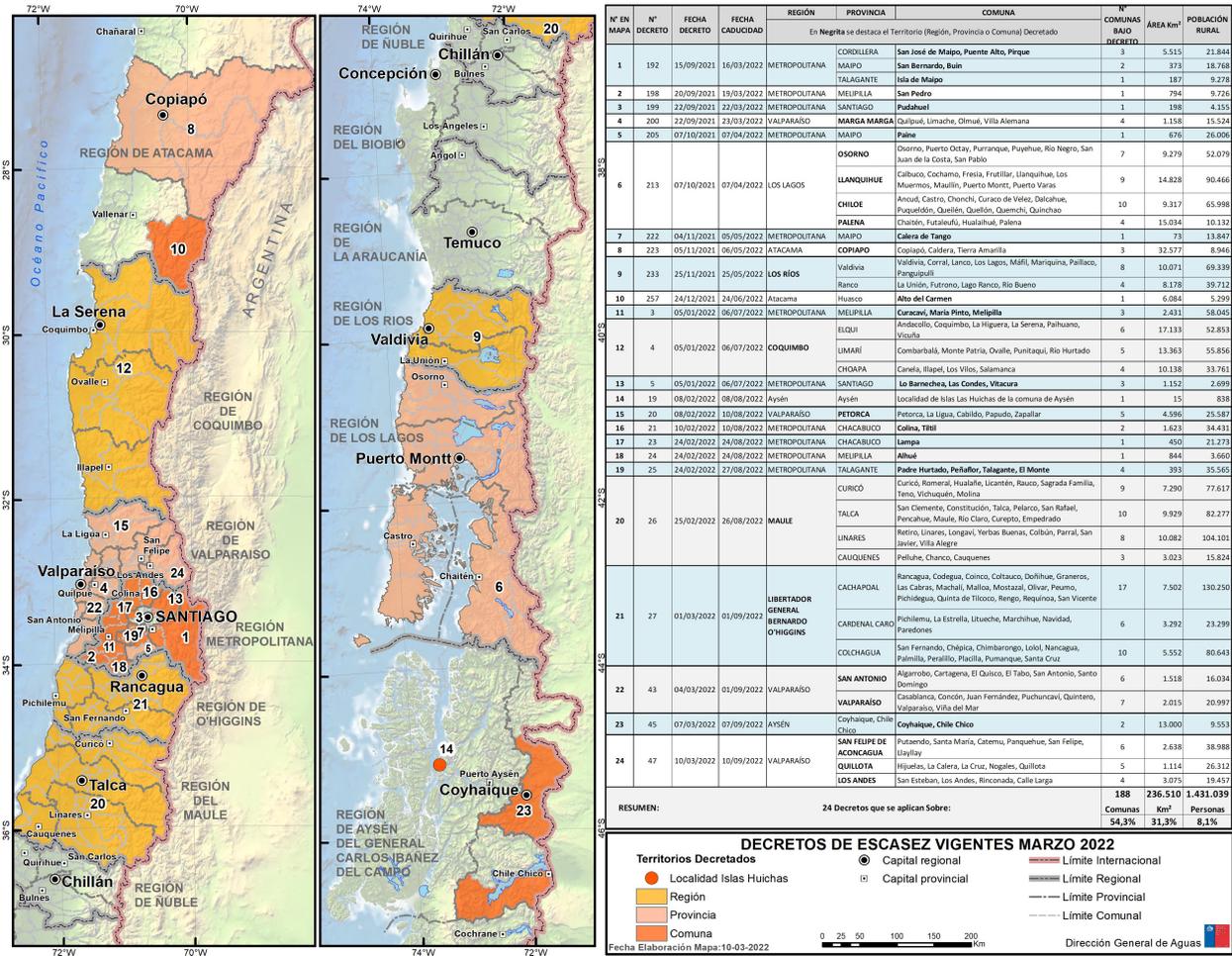


Figura D.1: Decretos de escasez vigentes a lo largo del país (DGA, 2022).

Tabla D.8: Datos de dimensionamiento para PTAS de Lodos Activados da cada emisorio submarino.

Parámetros	ES - Dos Norte	ES - Loma Larga
Población	397861.42	436717.17
Qm	0,77	1,73
Qmaxhor	1,22	2,70
DBO	219,43	216,88
Carga	0,17	0,38
	14554,78	32439,53

Tabla D.9: Carga y costo de inversión de PTAS de Lodos activados de distintas ciudades del país, según estudios tarifarias, para extrapolación de costos.

<b>PTAS</b>	<b>Costo Total [UF]</b>	<b>Carga [kgDBO/dia]</b>
Trebal Mapocho	8.403.477,2	143482,0
La Farfana	9.531.728,6	183791,4
Los Ángeles	251.759,4	6097,6
Chillan	301.034,3	7824,0
Linares	151.819,0	3140,0
Curicó	200.677,0	5160,0
Talca	293.698,0	8419,0
San Fernando	136.123,2	2426,2
Rancagua	443.376,3	13912,4

# Anexo E

## Análisis de costo de agricultores

Para completar el análisis de la factibilidad del costo del proyecto, se realiza un estudio de costo y beneficio de los agricultores beneficiados donde se consideran los siguientes planteamientos y supuestos:

- Los canales Waddington y Ovalle pertenecientes a la Junta de Vigilancia de la tercera sección del río Aconcagua, forman parte de las provincias de Quillota y Marga Marga.
- Debido a esto se considera que los cultivos predominantes se basan en estas provincias, compuesto principales por frutales (paltos y uvas) y hortalizas (Lechuga y tomates).
- La superficie regable de estos canales es de 553,77 para el canal Ovalle y 1651,22 para el canal Waddington (DGA, 1993).
- Los frutales para la provincia de Quillota corresponden al 54 % del total de cultivos y las hortalizas un 21 %.

Y mediante las fichas económicas de cada cultivo, se obtiene los siguientes datos:

Tabla E.1: Costo cultivos por hectárea de la región de Valparaíso.

	Hortalizas					Frutales	
	Alcachofa	Choclo	Poroto granado	Tomate	Lechuga	Palto	Vid Vinifera
Ingreso por hectárea [\$]	7.650.000	4.500.000	2.880.000	64.233.000	5.400.000	6.300.000	1.920.000
Costos totales por hectárea [\$]	4.589.733	2.287.002	1838340	36.802.890	3.885.181	3.361.674	1.189.451
Margen neto por hectárea [\$]	3.060.267	2.212.998	1.041.660	27.430.110	1.514.819	2.938.326	730.549
Porcentaje	11 %	10 %	7 %	12 %	13 %	43 %	21 %

Se aprecia que las ganancias netas de los canalistas es de aproximadamente un 50 %, por lo cual mediante el supuesto de que los canalistas dejan de percibir el 50 % de sus ganancias, es decir, el 25 % menos del ingreso total, y manteniendo el costo del cultivo, las canalistas estarían dejando de percibir \$ 800.000 por hectárea aproximadamente, es decir, \$1.780.000.000 anualmente. Por lo consiguiente, el proyecto propuesto podría solventar parte dichas pérdidas, dependiendo del financiamiento que se realice del proyecto .