



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**Análisis del Potencial de Reutilización de Aguas Grises
Domésticas en Zonas Urbanas de Chile Como una Alternativa de
Adaptación Frente a los Escenarios de Estrés Hídrico Nacional**

POR

Augusto José Bellolio Victoriano

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción
para optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía

Dra. María Magdalena Jensen Castillo

FECHA

Agosto, 2023

© 2023 Augusto José Bellolio Victoriano

© 2023 Augusto José Bellolio Victoriano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Resumen

En esta investigación se analizó en detalle diversos factores que presionan los recursos hídricos en el mundo y ponen en riesgo la disponibilidad futura del agua, entre ellos el incremento en la demanda del agua a raíz del aumento demográfico, la urbanización, el cambio en los patrones de consumo de las personas por el incremento de los ingresos y el cambio climático, provocando un aumento y/o intensificación de escenarios de escases y estrés hídrico, y como Chile sigue estas tendencias.

Una medida adoptada en varios países que sufren escasez hídrica ha sido la implementación de sistemas de aguas grises domiciliarios, con los cuales se han logrado ahorrar hasta un 50% del agua potable en hogares, reutilizando las aguas grises domesticas para la recarga de cisternas de inodoros y riego de jardines.

El objetivo de esta investigación busca ampliar el conocimiento de estos sistemas de reutilización de aguas grises y analizar el potencial de estos sistemas para enfrentar los escenarios de escasez hídrica que sufren algunas comunas de Chile, principalmente en la zona Norte y Centro del país. Para ello se analizó la implementación de un sistema que reutilice el agua de los lavamanos, duchas y lavadora de un hogar unifamiliar en la comuna de Antofagasta, para el llenado de inodoros y riego del jardín del hogar, logrando reutilizar hasta un 37,6% del consumo del consumo de agua potable del hogar.

Pese a que los incentivos para la implementación de estos sistemas de reutilización en Chile son bajos, debido a su alto costo, el bajo precio del agua, la falta de información y los subsidios para el pago de la cuenta de agua potable, se realizó una evaluación económica de este. Además, se consultó a través de una encuesta a la población chilena, si es que era necesario fomentar a través de subsidios totales o parciales la instalación de estos sistemas, la cual fue positiva por parte de los encuestados, por lo que se evaluó la implementación del sistema de aguas grises contemplando una ayuda económica para financiar el proyecto.

Abstract

In this research, various factors that put pressure on water resources worldwide and jeopardize future water availability were thoroughly analyzed. These factors include increased water demand due to population growth, urbanization, changes in people's consumption patterns resulting from income growth and climate change, leading to increased scarcity as well as water stress scenarios and how Chile follows these trends.

One measure adopted in several water-scarce countries has been the implementation of household graywater systems, which have achieved savings of up to 50% of potable water in homes by reusing domestic graywater for toilet tank refills and garden irrigation.

The objective of this research is to expand knowledge about these graywater reuse systems and analyze their potential to address water scarcity scenarios in certain Chilean communities, particularly in the northern and central regions of the country. To achieve this, the implementation of a system that reuses water from sinks, showers, and washing machines in a single-family home in the commune of Antofagasta was analyzed for toilet flushing and garden watering. This system was able to reuse up to 37.6% of the household's potable water consumption.

Despite the low incentives for implementing these reuse systems in Chile, attributed to their high cost, low water prices, lack of information, and subsidies for potable water bills, an economic evaluation was conducted. Additionally, a survey was conducted among the Chilean population to assess the need for total or partial subsidies to promote the installation of these systems. The survey respondents showed a positive inclination, leading to the evaluation of implementing graywater systems with financial assistance to fund the project.

Tabla de Contenido

Resumen	II
Abstract	III
Lista de Tablas	VII
Lista de Figuras	VIII
Capítulo I: Introducción	1
Capítulo II: Objetivos	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos	3
Capítulo III: Metodología	4
Capítulo IV: La Crisis Mundial del Agua	7
4.1 Aumento en la Demanda de Agua	7
4.2 Extracciones de Agua	10
4.3 Aumento Demográfico.....	12
4.4 Desarrollo Económico	12
4.5 Urbanización	13
4.6 Cambio Climático	15
4.7 Escasez y Estrés hídrico.....	18
Capítulo V: Aguas Grises	22
5.1 Definición y Caracterización de Aguas Grises	22
5.2 Composición de las Aguas Grises Domesticas.....	22
5.3 Reutilización de Agus Grises.....	24
5.4 Sistemas De Reutilización de Aguas Grises	26
5.4.1 Sistemas Sin Tratamiento	27

5.4.2 Sistemas Con Tratamiento	27
Capítulo VI: Consideraciones Para la Implementación de un SRAG.....	29
6.1 Generalidades.....	29
6.2 Consumo de Agua del Hogar	30
6.3 Calidad de las Aguas Grises Recolectadas	31
6.4 Calidad de las Aguas Grises Tratadas.....	31
6.5 Uso del Agua Gris Tratada	32
6.6 Consideraciones	32
Capítulo VII: Análisis y Resultados.....	33
7.1 Encuesta	34
7.1.1 Resultados Encuesta	35
7.2 Antecedentes Generales del Proyecto.....	38
7.3 Ubicación del Proyecto.....	39
7.4 Características de la Vivienda.....	40
7.5 Consumo de Agua Potable.....	40
7.6 Factibilidad Técnica.....	42
7.7 Sistema de Reutilización de Aguas Grises Propuesto.....	44
7.8 Estimación de Costos.....	47
7.8.1 Diseño y Construcción.....	47
7.8.2 Materiales y Equipos	47
7.8.3 Costos de Funcionamiento y Mantenimiento.....	48
7.9 Evaluación Económica del proyecto.....	49
7.9.1 Inversión Inicial	50
7.9.2 Gastos.....	50
7.9.3 Ingresos	50

7.9.4 Consideraciones y Escenarios.....	51
7.9.5 Resultados Evaluación Económica.....	53
Capítulo IX: Conclusiones	57
Bibliografía.....	59
Anexos.....	63

Lista de Tablas

<i>Tabla 4.1-1: Resumen de Demanda Actual de Agua Potable</i>	9
<i>Tabla 4.1-2: Resumen de Demanda Futura de Agua para 2030 y 2040 por Región y por Uso</i>	9
<i>Tabla 5.2-3: Tipos de contaminantes según fuente de aguas grises</i>	23
<i>Tabla 5.2-4: Rango del Valor de los Parámetros en Aguas Grises Domiciliarias</i>	24
<i>Tabla 5.3-5: Usos Urbanos</i>	25
<i>Tabla 5.3-6: Riego Áreas Recreativas y Servicios</i>	25
<i>Tabla 5.3-7: Riego Ornamental</i>	26
<i>Tabla 7.1-8: Preguntas Encuesta Sistemas de Reutilización de Aguas Grises Domiciliarios en Chile</i>	34
<i>Tabla 7.5-9: Estimación del Consumo de Agua Potable de la Vivienda</i>	40
<i>Tabla 7.6-10: Volúmenes de Aguas Grises Reutilizables de la vivienda vs Consumo de Agua para Descarga de Inodoros</i>	43
<i>Tabla 7.8.3-11: Costo Mensual de Funcionamiento Bomba y Ozonizador</i>	48
<i>Tabla 7.9.3-12: Valor Cuenta de Agua Con y Sin el SRAG Propuesto</i>	51
<i>Tabla 7.9.5-13: Flujo de Caja para Esc. 1 y Esc. 2</i>	53
<i>Tabla 7.9.5-14: Flujo de Caja para Esc. 2</i>	54
<i>Tabla 7.9.5-15: Flujo de Caja para Esc. 3</i>	55

Lista de Figuras

<i>Figura 4.1-1: Desafíos para los Escenarios Socioeconómicos</i>	8
<i>Figura 4.2-2: Extracción de Agua Sectorial Mundial</i>	10
<i>Figura 4.2-3: Total Anual de los Recursos Hídricos Renovables Internos Per Cápita por Región Geográfica, 2000, 2012 y 2018 (m3 per cápita)</i>	11
<i>Figura 4.4-4: La competencia en la demanda de agua está determinada por el nivel de ingresos del país.</i>	13
<i>Figura 4.5-5: Crecimiento de la Población Urbana Mundial Impulsado Por las Ciudades</i>	14
<i>Figura 4.6-6: Catástrofes Naturales Relacionadas con el Clima Mundial Clasificadas, 1980–2018</i>	16
<i>Figura 4.6-7: Evolución de la temperatura media en Chile</i>	17
<i>Figura 4.6-8: Evolución de las precipitaciones media en Chile</i>	18
<i>Figura 7.1-9: Resultado Pregunta 8: ¿La comuna en donde vive se encuentra en estrés hídrico?</i>	36
<i>Figura 7.1.1-10: Resultado Pregunta 14: Si su respuesta anterior fue sí. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la instalación de un sistema de reutilización de aguas grises en su hogar? (Asuma que el pago puede ser realizado en 12 cuotas mensuales sin interés)</i>	37
<i>Figura 7.1.1-11: Resultado Pregunta 1: ¿En qué grupo de edad se encuentra?</i>	38
<i>Figura 7.7-12: Diagrama del Proceso del SRAG del Proyecto</i>	44
<i>Figura 7.7-13: Etapas y Componentes de la PRAG de la Empresa Aguasol</i>	46

Capítulo I: Introducción

El agua es un recurso natural esencial para la salud y el bienestar de las personas, animales y plantas, y de los ecosistemas terrestres y acuáticos (ONU, 2019), además ha permitido el desarrollo de la humanidad, ya que por miles de años los seres humanos se las han ingeniado para usar el agua a su favor, desde asentarse cerca de fuentes hidrológicas como ríos y lagos, hasta la creación de diversos sistemas hidráulicos para aprovechar el agua (Fernández, 2004), permitiendo el desarrollo de alimentos, energía, manufactura de diferentes productos, entre otros. Pero pese a esto, la conducta humana, no refleja la importancia que se le debería tener a este recurso, ya que se sigue despilfarrando el agua como si fuese un recurso inagotable y se sigue contaminando sus fuentes, a raíz del crecimiento demográfico, urbano y económico (ONU, 2019).

Por otro lado, el cambio climático está aumentando la temperatura terrestre y por ende afectando el ciclo del agua, lo que se ha traducido en desertificación, sequías, lluvias extremas e inundaciones en diferentes lugares del mundo (ONU, 2019). Además, la demanda de agua en los países generalmente supera el agua dulce disponible, lo que se conoce como estrés hídrico.

En consecuencia, se prevé que los escenarios de estrés hídrico y escasez de agua sigan en aumento si no se toman medidas para reducir el consumo de agua potable y cuidar las fuentes hidrológicas de agua. El 28 de julio de 2010, el agua fue declarado un derecho humano por la Asamblea de las Naciones Unidas. Por esta razón y varios otros problemas que afectan a la población mundial en general es que se desarrolló en 2015 los 17 Objetivos de Desarrollo Sustentables, los cuales buscan dar una solución a varios problemas que afectan a la población mundial, como lo son el fin de la pobreza, la correcta gestión del agua, la energía y los alimentos, educación de calidad e igualdad de géneros, por nombrar algunos de los temas a tratar, gran parte de estos objetivos no podrán ser alcanzados sin una correcta gestión del agua.

Como respuesta a los diferentes escenarios de escases y estrés hídrico, diferentes países han implementado sistemas de reutilización de aguas grises, en adelante SRAG por sus siglas en español, domesticas en sectores urbanos y rurales. Estos sistemas consisten en la

reutilización del agua utilizada en duchas, lavadoras de ropa, lavamanos y lavavajillas, que después son destinados para el riego de jardines, recarga del inodoro y usos exteriores como el lavado del auto, entre otras. Según Maimon et al. (2010) la reutilización de aguas grises para el llenado de inodoros y riego de jardines tiene un potencial de reducir en hasta un 50% el consumo de agua doméstica. Lo cual puede ser considerado un ahorro en la cuenta de agua de las familias que tengan un SRAG y una menor carga para las plantas de tratamiento de aguas servidas debido a que se vierten menos aguas residuales por el alcantarillado.

Pero para poder reutilizar las aguas grises, estas deben ser tratadas de forma adecuada, para su posterior uso (Pacific Institute, 2010). Chile no se queda atrás ya que el 15 de febrero de 2018, se publicó la Ley 21.075, la cual busca regular la recolección y disposición de aguas grises que son generadas tanto a nivel rural como urbano, con la finalidad de reutilizar y ahorrar este recurso, por lo que su recolección y tratamiento quedará destinada al interés público para riegos de diferentes áreas públicas como lo son áreas verdes, parques o centros deportivos. Pero dado que no existe un reglamento aprobado para esta ley, por lo que aún no ha sido efectiva su fiscalización y puesta en práctica de forma regular

Por lo tanto, la posibilidad de generar un ahorro en el consumo de agua potable en un hogar y reducir los volúmenes de aguas servidas, son motivo para analizar el potencial de estos sistemas en un hogar unifamiliar de Chile. Pese a que estos sistemas tienen un alto costo de inversión, se buscará dar soluciones a estos a través de una consulta para poder incentivar proyectos que busque reutilizar las aguas grises.

Capítulo II: Objetivos

2.1 Objetivo General

El objetivo principal que tiene este trabajo de investigación es analizar el potencial de la reutilización de aguas grises domiciliarias como una alternativa de adaptación frente al problema de estrés hídrico que enfrenta Chile.

2.2 Objetivos Específicos

1. Analizar sobre las presiones actuales que amenazan los recursos hídricos a nivel mundial y local, dejando en evidencia la influencia que ejerce el aumento demográfico, la urbanización y el aumento de los ingresos sobre la creciente demanda por agua y como el cambio climático exacerba el problema de la escasez.
2. Analizar el tratamiento y reutilización de las aguas grises domiciliario como una iniciativa de adaptación frente a los escenarios de estrés hídrico en Chile, contemplando el avance en esta materia de diferentes países que reutilicen estas aguas residuales, sirviendo como ejemplo en futuros proyectos.
3. Revisión de la ley 21.075 promulgada el 1 de febrero de 2018 en Chile en cuanto a la recolección y disposición de las aguas servidas domésticas, en las áreas urbanas y rurales.
4. Proponer un proyecto que contemple la reutilización de aguas grises para un hogar unifamiliar ubicado en una zona de estrés hídrico alto o extremo en el país, que contemple un análisis de factibilidad técnico y financiero.

Capítulo III: Metodología

La conservación del agua, su ahorro, su reutilización y correcta gestión es un tema que requiere compromiso por parte de los países y de las personas que deseen efectuar cambios, que más que ver la gestión de este recurso como un ahorro económico, verlo como una ayuda a contribuir en el bienestar de nuestro planeta y una oportunidad de mejora en la calidad de la vida de otros. Dicho lo anterior, esta investigación se realizó en distintas etapas que contemplan objetivos diferentes, pero siempre encaminada de resolver el objetivo principal de esta.

En primer lugar, se hizo un levantamiento de información sobre la crisis mundial que existe en torno al agua, cómo el aumento demográfico, el crecimiento urbano y el cambio climático son factores cruciales que ponen en riesgo la disponibilidad futura del agua y cómo se ven afectados diferentes países. Para ello se revisaron documentos oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y de sus diferentes organismos como la FAO, UNESCO, entre otras. Además, se relacionarán las tendencias mundiales en cuanto a estos temas con Chile, por lo que se analizó datos históricos recopilados de la Dirección General de Aguas (DGA), el Instituto Nacional de estadística (INE) y la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

En segundo lugar, se abordó el tema de las aguas grises, para generar un contexto general de estas, se analizó documentación de diferentes instituciones, entre ellas The Pacific Institute, Aqua España y la Ley 21.075 promulgada en febrero del 2018 en Chile junto a su proyecto de reglamento (Resolución Exenta n°404 del Ministerio de Salud del año 2021). Lo que permitió a grandes rasgos definir las aguas grises, sus características principales, su composición, las formas en las que se pueden reutilizar y distintos sistemas para tratarlas.

Lo anterior tiene un objetivo formativo, para introducir de forma clara la reutilización de aguas grises como una posible medida de adaptación frente a las condiciones de estrés hídrico que presenta Chile, principalmente en las zonas Norte y Centro del país, y cómo estos sistemas podrían ayudar en la calidad de vida de las personas más afectadas por el cambio climático y la disponibilidad de agua potable.

Por otra parte, el Capítulo VI de este informe, como su nombre lo indica se establecerán diferentes consideraciones que se deben tener a la hora de querer implementar un sistema de reutilización de aguas grises en Chile, por lo que se analizó en más en detalle la Ley 21.075 y su proyecto de reglamento.

En el Capítulo VII, con motivo de conocer la opinión y el conocimiento de las personas en Chile en cuanto a los sistemas de reutilización de aguas grises domésticos se elaboró una encuesta de 18 preguntas, donde los encuestados además de informarse sobre estos sistemas, pudieron dejar su opinión respecto si es que era necesario tener incentivo por parte de las autoridades para la implementación de un sistema de reutilización de aguas grises en el hogar.

Dentro de este mismo capítulo, se propuso un proyecto que contempla un sistema para la reutilización de las aguas grises en un hogar unifamiliar en Chile, para el aprovechamiento de las aguas provenientes del uso de lavamanos, duchas y lavadora en el llenado de los estanques de inodoro de la vivienda y riego del jardín. En primer lugar, se identificó la ubicación del proyecto y los detalles de la vivienda, para luego estimar el consumo de agua potable y la factibilidad del proyecto. Luego, en base a la oferta nacional de empresas que se dedican a la venta de sistemas y equipos para el tratamiento de aguas grises se seleccionó el adecuado que cumpla con lo estipulado en la ley 21.075.

Posteriormente, se realizó una evaluación económica del proyecto mencionado, donde se calculó la inversión del proyecto, sus gastos y los ahorros generados, para luego analizar los criterios financieros del VAN y TIR, para ver si este proyecto es atractivo desde el punto de vista económico.

El autor Pascal (2007) se refiere al Valor Actual Neto o VAN de un proyecto de la siguiente manera: “el VAN mide la deseabilidad de un proyecto en términos absolutos, calcula la cantidad total en que ha aumentado el capital como consecuencia del proyecto”. En otras palabras, el VAN es un criterio financiero que permite discernir si un proyecto es rentable o conveniente para el inversionista. Según Marcos (2014) el VAN corresponde al valor actual de los flujos efectivos netos del proyecto, entendiéndose como la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos ajustados a una tasa de descuento, la cual corresponde a una medida mínima de rentabilidad del proyecto que permita cubrir la

inversión y los costos asociados. En otras palabras, la tasa de descuento para un proyecto permite determinar cuál es el valor presente de un pago en el futuro. De esta manera, un proyecto individual como el propuesto en este estudio, será atractivo si el VAN es mayor a cero, ya que se cubre la inversión y los gastos del proyecto en el tiempo de vida útil del proyecto, según lo entendido de (Marcos, 2014).

Por otra parte, la TIR o tasa interna de retorno corresponde a otro criterio financiero, el cual, según Marcos, R. (2014) permite calcular la tasa de descuento en donde el VAN es igual a cero. Por lo tanto, una TIR mayor a la tasa de descuento es financieramente atractivo, por otra parte, cuando se tiene una TIR mayor a 0, pero menor a la tasa de descuentos, los ingresos cubren los egresos (gastos), pero no generan beneficios adicionales, mientras que una TIR negativa significara que los ingresos no cubren los egresos por lo que el proyecto generara perdidas.

Finalmente, los resultados de esta investigación son condensados en las conclusiones, donde se destacan los resultados de la evaluación económica, y se plantea la hipótesis de que sucedería en caso de que el estado de Chile pudiese financiar de forma parcial o completa estos sistemas en comunas afectadas por la escasez hídrica.

Capítulo IV: La Crisis Mundial del Agua

En este capítulo se analizará el aumento en la demanda de agua a nivel mundial y nacional, cómo las extracciones de agua han ido incrementado y generado una reducción de las fuentes hídricas renovables a raíz del aumento demográfico, el desarrollo económico y la urbanización, y cómo esto sumado al cambio climático han influido en el incremento de escenarios de escasez y estrés hídricos en diferentes partes del mundo.

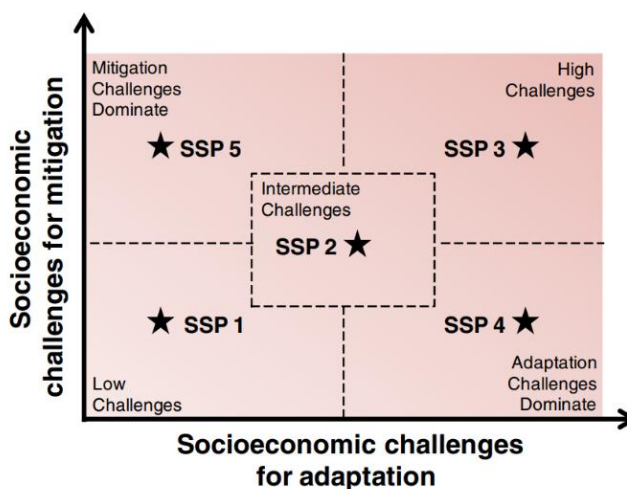
4.1 Aumento en la Demanda de Agua

Las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs por sus siglas en inglés), son una representación de futuros alternativos de desarrollo socioeconómico que representan, a partir de una narrativa y de variables cuantitativas, cómo podría evolucionar el mundo en las siguientes décadas, y cómo esos cambios en el mundo podrán suponer desafíos para la mitigación y adaptación (O'Neil et al., 2014).

Existen cinco trayectorias socioeconómicas compartidas:

- SSP1: Sostenibilidad (tomar el camino verde)
- SSP2: Mitad del camino
- SSP3: Rivalidad regional (un camino rocoso)
- SSP4: Desigualdad (un camino dividido)
- SSP5: Desarrollo impulsado por combustibles fósiles (tomar la autopista)

Figura 4.1-1: Desafíos para los Escenarios Socioeconómicos



Fuente: O'Neil y otros, 2014

Se prevé que la demanda mundial de agua, o sea la extracción de agua aumente en todos los escenarios tendenciales. Algunos escenarios muestran un aumento de unos 4.000 km³ (usos consuntivos y no consuntivos) anuales en la actualidad a 5.500 km³ anuales en 2050, lo que correspondería a un 38% en el escenario SSP₂ (ONU, 2019). Otros estudios muestran un aumento menor, basado en las mejoras de eficiencia previstas. Por ejemplo, bajo un escenario SSP₂ se proyecta un aumento del 26% en la demanda total de agua para 2050. Para el escenario de alta demanda, se prevé que el uso consuntivo de agua aumente de los 2.000 km³ anuales en la actualidad a 2.500 km³ anuales para el año 2050 (25%) bajo el SSP₂. Mientras que, bajo el escenario SSP₃ se espera un aumento adicional del 10% en el uso del agua (ONU, 2019).

El aumento en la demanda de agua dulce en Chile igual se espera que aumente, en un estudio realizado por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile, titulado Estimaciones de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile, indica que el consumo de agua consuntiva en el año 2015 fue de 10.908.731 Mm³/año (miles de metros cúbicos al año) y se espera que para el año 2030 sea de 11.403.812 Mm³/año y para el 2040 alcance los 11.968.632 Mm³/año (DGA, 2017).

Tabla 4.1-1: Resumen de Demanda Actual de Agua Potable

Región	Nombre	DEMANDA CONSUNTIVA 2015 (Mm3/año)							
		APU	APR	AGR	PEC	MIN	IND	ELE*	TOTAL
XV	Arica y Parinacota	12.926	604	73.010	330	571	195	0	87.635
I	Tarapacá	21.698	337	17.087	106	51.534	4.387	0	95.149
II	Antofagasta	38.705	481	46.230	102	151.072	29.563	0	266.153
III	Atacama	17.005	689	140.215	239	39.950	15	0	198.114
IV	Coquimbo	39.496	6.214	462.090	1.470	41.967	4.742	0	555.979
V	Valparaíso	102.003	10.766	672.337	3.378	47.571	16.554	221.370	1.073.979
XIII	Metropolitana	659.893	11.570	1.269.824	18.226	23.442	38.468	37.166	2.058.589
VI	O'Higgins	43.074	28.524	1.723.417	17.479	70.721	12.276	66	1.895.558
VII	Maule	41.848	17.389	2.822.598	4.342	1	33.304	7.709	2.927.192
VIII	Biobío	100.744	12.189	475.978	2.117	31	350.470	194.400	1.135.928
IX	Araucanía	38.322	6.742	172.483	6.195	0	25.822	27.910	277.474
XIV	Los Ríos	16.118	7.316	5.457	7.201	0	75.491	2.640	114.223
X	Los Lagos	31.235	7.349	2.613	9.457	0	137.943	0	188.597
XI	Aysén	5.388	1.332	734	1.337	2.846	1.018	0	12.656
XII	Magallanes y Antártica	10.756	184	2.096	3.157	591	603	4.120	21.506
TOTAL NACIONAL		1.179.209	111.684	7.886.169	75.136	430.296	730.853	495.382	10.908.731

Fuente: DGA, 2017.

Tabla 4.1-2: Resumen de Demanda Futura de Agua para 2030 y 2040 por Región y por Uso

Región	DEMANDA CONSUNTIVA FUTURA (Mm3/año)															
	APU		APR		AGR		PEC		MIN		IND		ELE		TOTAL	
	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040
XV	27.049	35.772	683	694	68.087	63.067	479	555	719	849	255	290	0	0	97.272	101.226
I	29.249	34.387	534	552	17.472	16.933	150	182	48.043	49.368	6.973	8.683	0	0	102.421	110.103
II	44.480	49.085	569	577	42.315	42.395	146	177	99.566	75.990	48.836	59.700	0	0	235.912	227.924
III	18.388	19.465	779	812	189.213	210.312	474	568	48.629	33.543	26	33	0	0	257.508	264.733
IV	47.667	52.123	7.230	7.505	720.118	790.984	2.664	3.198	46.021	40.900	6.629	8.034	0	0	830.328	902.744
V	112.158	117.727	12.207	12.495	736.452	779.568	5.320	6.521	48.169	42.604	19302	20911	169.880	174.115	1.103.489	1.153.939
XIII	772.105	841.915	14.255	15.360	1.216.806	1.253.000	31.696	39.240	26.152	25.649	75.894	99.170	24.895	24.966	2.161.802	2.299.300
VI	47.473	49.418	34.574	36.153	1.838.778	1.954.694	30.105	37.507	75.154	73.960	16.597	18.985	76	80	2.042.757	2.170.798
VII	43.741	46.223	19.914	20.905	2.503.605	2.437.756	4.495	4.609	0	0	50.660	62.628	9.069	8.974	2.631.484	2.581.096
VIII	108.604	112.385	15.812	16.203	432.803	416.301	2.152	1.836	34	32	423.289	544.534	172.530	183.951	1.155.224	1.275.241
IX	41.032	43.437	8.337	8.582	167.521	171.064	6.732	6.135	0	0	47.107	60.444	25.387	19.215	296.116	308.878
XIV	17.273	17.835	16.501	16.974	7.028	8.171	11.871	12.606	0	0	146.189	196.059	2.456	2.358	201.318	254.004
X	34.369	35.977	8.940	9.262	3.173	3.719	17.740	18.121	0	0	186.168	211.415	0	0	250.389	278.494
XI	5.947	6.454	1.389	1.391	488	482	2.482	2.514	971	1.654	1.611	2.010	0	0	12.888	14.505
XII	11.272	11.578	334	312	2.648	2.987	4.254	4.231	643	1.041	788	908	4.964	4.591	24.904	25.648
TOTAL	1.360.806	1.473.779	142.059	147.776	7.946.505	8.151.433	120.761	138.000	394.100	345.590	1.030.325	1.293.804	409.256	418.250	11.403.812	11.968.632

Fuente: DGA, 2017.

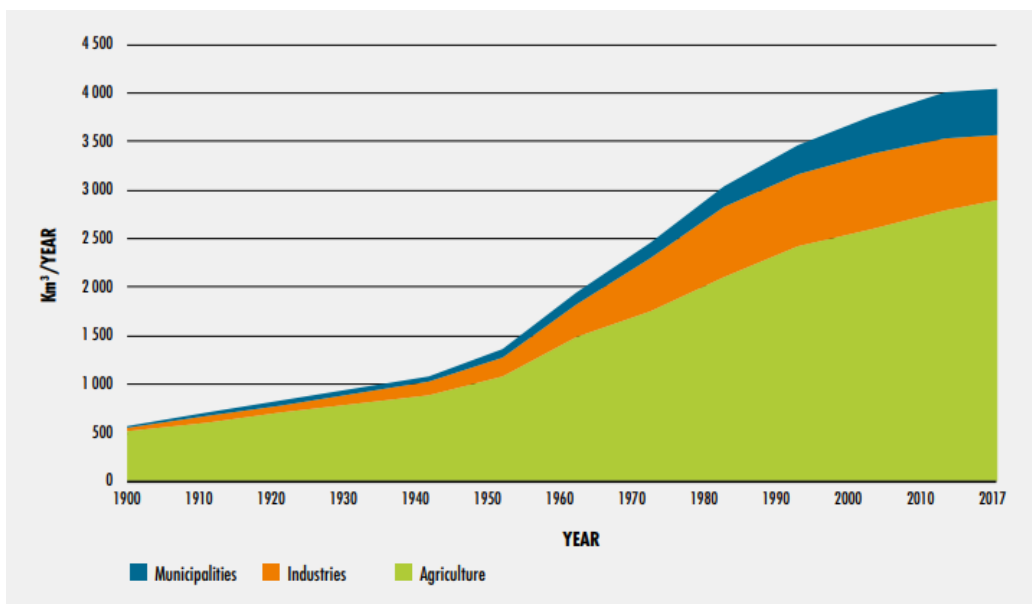
Las tablas anteriores detallan el resumen de la demanda de agua para cada actividad consuntiva del país, las cuales son: agua potable urbana (APU); agua potable rural (APR); agrícola (AGR); pecuario (PEC); minería (MIN); industrial (IND) y eléctrico (ELE).

4.2 Extracciones de Agua

La Tierra es un planeta conformado en gran parte por agua, menos del 1% del agua disponible en la tierra es agua dulce, ya sea en estado líquido, en forma de hielo o vapor (UNESCO, 2022). De este pequeño porcentaje de agua dulce solo el 0,4% corresponde a aguas superficiales como lagos, ríos y humedales (ONU, 2019) y aproximadamente más del 99% restante corresponde a las aguas subterráneas (UNESCO 2022).

Según el sistema global de agua y agricultura de la FAO, AQUASTAT, la extracción de agua dulce puede ser dividida en 3 grandes sectores. En primer lugar, se tienen las extracciones de agua para uso agrícola, el cual contempla el uso de agua para riego, abreviar y limpiar el ganado, y la acuicultura. El segundo sector corresponde al industrial, que incluye el agua utilizada para la producción de energía y finalmente el uso municipal, el cual engloba el uso doméstico de esta y el municipal (FAO, 2021).

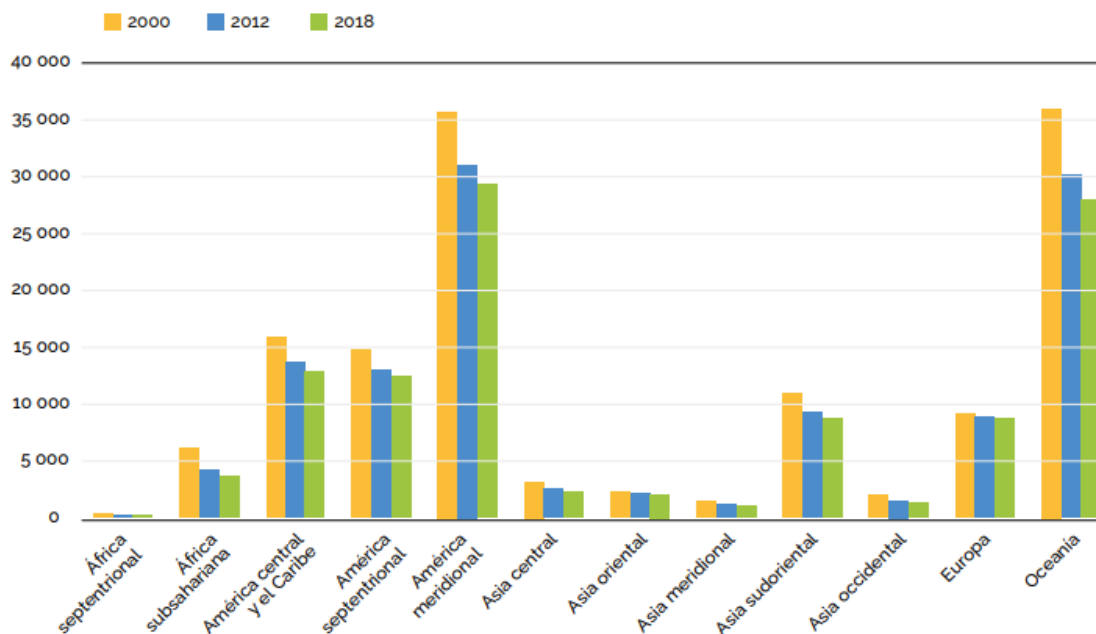
Figura 4.2-2: Extracción de Agua Sectorial Mundial



Fuente: FAO, 2020.

Las extracciones de agua han aumentado 6 veces en los últimos 100 años (1900 - 2000), y se prevé que siga aumentando en un 1% anual (UNESCO 2020). Como consecuencia de lo anterior las fuentes internas de agua per cápita se han reducido en aproximadamente un 20% (FAO, 2020) a nivel mundial, desde el año 2000 hasta el 2018. En la Figura 4.2-3 se puede ver la reducción que han sufrido las fuentes de agua dulce por región, viéndose más afectadas las zonas que disponen menos de estos recursos por habitante como lo son África subsahariana (41%), Asia central (30%), Asia occidental (29%) y África septentrional (26%) (FAO, 2020), en el caso de América Central y el Caribe la disminución no fue tan pronunciada como en las otras regiones.

Figura 4.2-3: Total Anual de los Recursos Hídricos Renovables Internos Per Cápita por Región Geográfica, 2000, 2012 y 2018 (m³ per cápita)



Fuente: FAO 2020

Pero el incremento en la demanda de agua está relacionado entre otras cosas con el crecimiento demográfico (FAO 2020), el desarrollo económico o aumento de los ingresos (FAO, 2013) y la urbanización (UNESCO 2020), entre otros factores.

4.3 Aumento Demográfico

El aumento en la población conlleva a una reducción de los recursos naturales por habitante (FAO 2020), por lo que la disponibilidad de agua per cápita se ha visto disminuida y se espera que continúe disminuyendo. Actualmente la población mundial supera los 8 billones de habitantes, para 2030 y 2050 se estima que la población mundial será de 8,5 y 9,7 billones respectivamente, según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU (DAES) (Unesco 2020), lo que supondrá un aumento en la demanda de agua, siguiendo esta lógica y sin generar un cambio en cuanto a la forma de extraer el agua.

Si bien la población mundial tiende a crecer, la tasa de crecimiento es cada vez menor, para el caso nacional ocurre lo mismo, según las estimaciones y proyecciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en base al Censo de Población y Vivienda realizado en 2017, se espera que la población de Chile alcance los 21,1 millones en 2035 y 22,6 millones para el 2050, este crecimiento se debe en parte a que la tasa de mortalidad será menor a la de nacimientos, el incremento en la esperanza de vida y que las inmigraciones excedan las emigraciones, además la tasa de crecimiento comenzará a disminuir desde el año 2019 en adelante (INE, 2018).

4.4 Desarrollo Económico

Una característica del incremento en la demanda de agua está relacionada con la mayor competencia entre todos los usuarios, por lo que examinar las tasas de extracciones de agua en relación con los ingresos y la clasificación de un país, permite tener una imagen clara de esta competencia (FAO, 2020). En la Figura 4.4-4 se puede apreciar como los países de bajos ingresos y de ingresos medio bajo, superan el 80% de las extracciones para uso agrícola, mientras que, en países de ingresos altos, el uso agrícola e industrial, corresponde al 43% y 41% respectivamente y el 16% para el uso municipal (FAO 2020).

Figura 4.4-4: La competencia en la demanda de agua está determinada por el nivel de ingresos del país.



Fuente: FAO, 2020

Además la presión humana sobre los recursos hídricos crece según incrementan los niveles económicos, ya que se utilizan mayores volúmenes de agua a nivel doméstico, por ejemplo duchas más largas y riego de jardines, mayor uso municipal, en donde existe un mayor consumo de agua para riego de parques y suministros de agua para turismo y recreación, y mayor demanda para el uso industrial y agrícola (FAO, 2013), esto último se explica debido a que un incremento en los ingresos conlleva a un aumento de los alimentos per cápita, por lo que al ampliar la dieta, existe un mayor consumo de carnes y lácteos, los cuales demandan mayor cantidad de agua que cultivos básicos (FAO,2013). También este incremento en los ingresos viene de la mano con un aumento en la demanda de productos manufacturados, energía eléctrica, servicios, etc. (FAO, 2013).

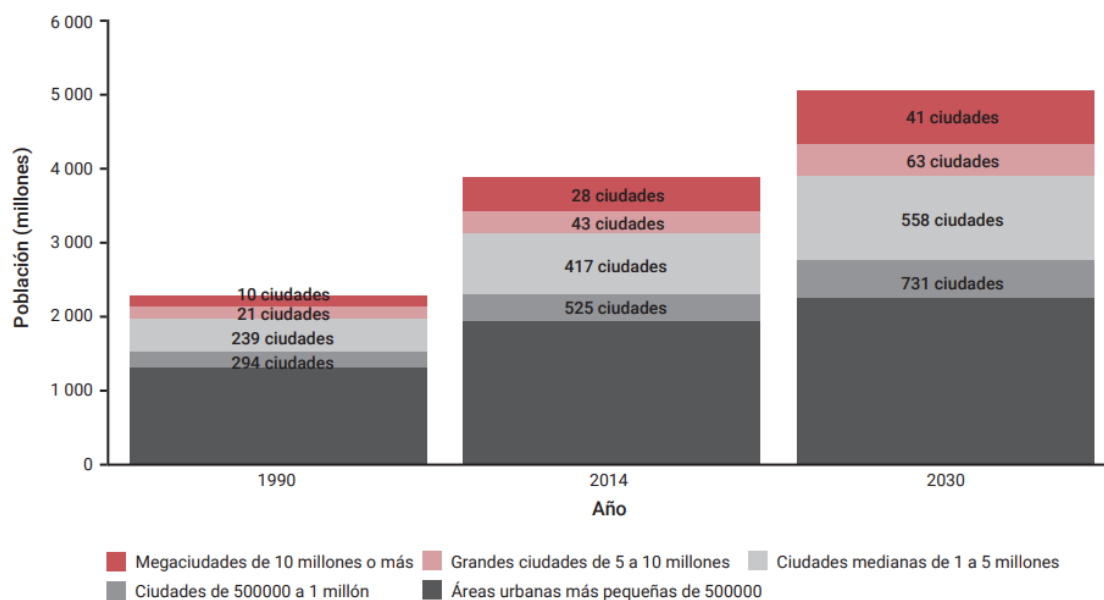
4.5 Urbanización

La urbanización, conocida también como transición urbana, hace referencia al cambio de la población, que pasan de una zona rural, en donde la agricultura es la principal actividad económica, a concentrarse en asentamientos urbanos más grandes y de mayor densidad, siendo las actividades industriales y de consumo las predominantes (ONU, 2018). Además,

la urbanización es otro factor que afecta los recursos ambientales, entre ellos el agua, ya que las zonas urbanas tienen mayores ingresos y consumos, mayores tasas de crecimiento económico lo que ejerce una mayor presión sobre los recursos naturales per cápita (ONU, 2019).

Si bien la mayoría de las personas viven en ciudades, en 2018 vivían 4.200 millones de personas en ciudades de los 7.600 millones de la población mundial. Para 2030 se espera que el 60% de la población viva en zonas urbanas y para 2050 un 66,4% (UNESCO, 2020). Este crecimiento urbano se puede dividir por el tamaño de las ciudades, los cuales afrontan diferentes retos. En la Figura 4.5-5 se muestran el crecimiento urbano impulsado por los diferentes tipos de ciudades, segmentadas por su población en millones de personas.

Figura 4.5-5: Crecimiento de la Población Urbana Mundial Impulsado Por las Ciudades



Fuente: ONU, 2019

Las megaciudades albergan sobre 10 millones de habitantes, pero pese a eso las ciudades medianas y pequeñas concentraban más del 50% de la población urbana en 2014, y se espera que siga aumentando para 2030 (ONU, 2019). Es claro que las ciudades están incrementando en número y tamaño, además son consideradas fuentes de creación de

riquezas, medido como la suma de los activos naturales, Humanos y físicos, lo que incentiva a migrar a ellas, pero una rápida urbanización no regulada y no planificada, puede ser atractiva en el corto plazo, ya que requiere menos provisión de infraestructura, poca interferencia institucional y menor planeación urbana, pero puede ser nefasta en el mediano y largo plazo, al estar más contaminadas, congestionadas e ineficientes en el uso de los recursos (ONU, 2019). Un crecimiento urbano desordenado puede causar problemas en cuanto a la disponibilidad del agua, su saneamiento y gestión (UNESCO 2020).

Chile sigue las tendencias mundiales en cuanto a urbanización, ya que se espera un incremento de la población urbana. En 2019 la población urbana nacional era del 88,4%, pero se espera que su proporción aumente para 2035 alcanzando un 89,1% (INE, 2019). En cuanto a las regiones, se proyecta que para el año 2035 todas mantendrán una mayor proporción de población urbana. Las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Tarapacá superaran el 95% de su población residiendo en zonas urbanas, mientras que la región del Ñuble, La Araucanía y Los Ríos, se encontrara bajo el 65%.

4.6 Cambio Climático

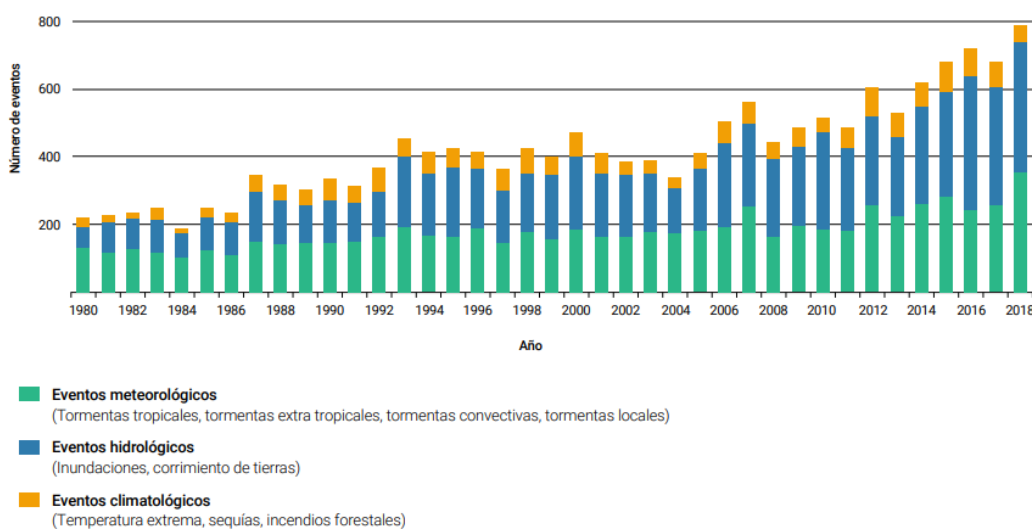
Actualmente existe un consenso entre los científicos sobre la influencia que tienen las actividades humanas y las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) en el calentamiento global. Se estima que las actividades humanas han causado un incremento en la temperatura de aproximadamente 1,2°C con respecto a los niveles preindustriales, por lo que es probable que en entre 2030 y 2052, el calentamiento global llegue a los 1,5°C, si es que se sigue aumentando al ritmo actual (IPCC, 2019). Por lo tanto, este aumento en la temperatura tiene una directa relación con el ciclo hidrológico del agua, ya que lo acelera, y por ende el sistema meteorológico se ve afectado, provocando por ejemplo una alteración en los patrones de las precipitaciones (ONU, 2019).

Por otra parte, los niveles de agua salada están incrementando en relación con los de agua dulce, a raíz del calentamiento global, el derretimiento de las reservas de hielo y nieve, los cambios en el uso de la tierra y el creciente bombeo de las aguas subterráneas (ONU,

2019). El cambio climático, está generando una presión sobre las diferentes fuentes hídricas de agua dulce. Si bien un incremento en las precipitaciones puede suponer un beneficio para cultivos y embalses de agua dulce, pero en algunas zonas donde los niveles de precipitaciones son menores a los que se espera, este superávit en el agua lluvia, puede causar problemas como la erosión de los suelos, incrementar la probabilidad de deslizamientos de tierra, avalanchas, además de contaminar el agua al arrastrar sedimentos o estancarse permitiendo la proliferación de bacterias en el agua (ONU, 2019). En el otro extremo, cuando existen menores niveles de precipitaciones, se pueden producir escenarios de sequía, incendios forestales, la degradación de los suelos, tormentas de arena y más grave aún, la lucha por conseguir agua (ONU, 2019).

Pero el cambio climático se manifiesta también de otras maneras, como lo es el incremento en la frecuencia de fenómenos extremos y su intensidad, lo cual puede ser evidenciado en la Figura 4.6-6, donde los problemas de precipitaciones extremas e inundaciones se están produciendo a una tasa 4 veces mayor que en 1980, mientras que otros eventos como tormentas, sequías y olas de calor se están registrando con el doble de frecuencia que en 1980.

Figura 4.6-6: Catástrofes Naturales Relacionadas con el Clima Mundial Clasificadas, 1980–2018



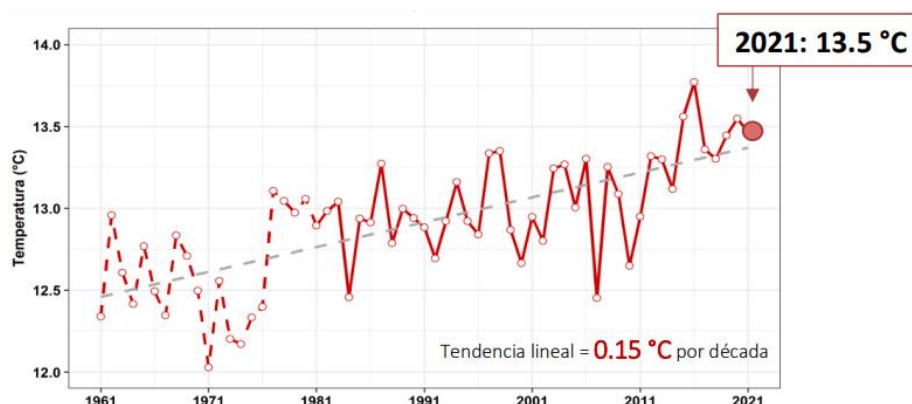
Nota: Los eventos contabilizados han causado al menos una muerte y/o producido pérdidas normalizadas de ≥ 100 mil, 300 mil, 1 millón o 3 millones de dólares (dependiendo del grupo de ingresos del país afectado, según el Banco Mundial).

Fuente: Unesco 2020, Agua y Clima, (MunichRe, NatCatSERVICE (2019).)

Todos estos cambios en la conducta del clima y los incrementos en los fenómenos extremos amenazan las fuentes de recursos hídricos de diferentes maneras, poniendo en riesgo la disponibilidad futura del agua y su calidad, ya que ponen en riesgo la infraestructura hídrica, lo que podría significar mayores problemas en la captación, tratamientos y distribución del agua (UNESCO, 2020).

Pero los efectos adversos del cambio climático también afectan a Chile, la tendencia en la temperatura muestra que Chile está incrementando su temperatura media (DGAC, 2021) y que el año 2021 se registró como el cuarto año más cálido en 61 años, pese a que su temperatura media fue -0.12°C respecto al año anterior, además desde el 2011, llevamos 11 años más cálido de lo normal (DGAC, 2021), lo cual queda evidenciado en la Figura 4.6-7.

Figura 4.6-7: Evolución de la temperatura media en Chile

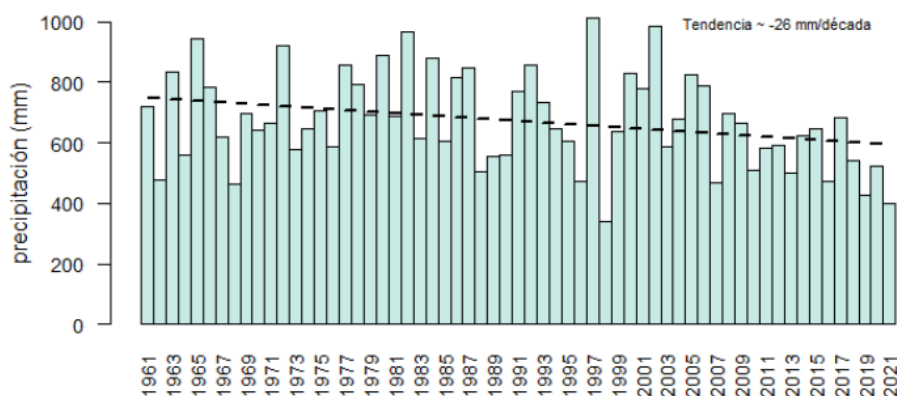


Fuente: DGAC, 2021

Este aumento en la temperatura del aire se relaciona con que la isoterma cero (altura donde la temperatura alcanza los 0°C) se desplace más arriba de lo normal, lo que afecta entre otras cosas la acumulación de nieve en las zonas andinas, por lo que la disponibilidad de agua disminuye y agrava los escenarios de sequía (DGAC, 2021).

En cuanto a las precipitaciones, el año 2021 alcanzó un déficit del 43% en promedio, lo que lo convierte en el segundo año más seco desde 1961 (DGAC, 2021). Más alarmante aun es que las precipitaciones en Chile están disminuyendo a razón de un 4% anual, razón que se intensifica a 8% si se consideran los últimos 41 años (DGAC, 2021).

Figura 4.6-8: Evolución de las precipitaciones media en Chile



Fuente: DGAC, 2021

Es evidente que el cambio climático está afectando a Chile, lo cual queda representado en el aumento de la temperatura media del país, aumento en la isoterma cero, disminución en las precipitaciones, aumento de los escenarios de sequía y lluvias extremas. Por esta razón y junto al aumento en la demanda del agua, explicado anteriormente por el aumento demográfico, la urbanización y el incremento en los ingresos, los escenarios de escasez y estrés hídricos se vienen agravando, y se espera continúen y sigan agravando.

4.7 Escasez y Estrés hídrico

La escasez de agua o escasez hídrica es un concepto utilizado generalmente para indicar que un país enfrenta problemas en cuanto a la disponibilidad de agua dulce. Pese a eso existe una discusión en cuanto a la definición de este término. Por este motivo, la Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, FAO, *Food and Agriculture Organization* por sus siglas en inglés, en su informe “Afrontar la Escasez de Agua”, definió la escasez hídrica como la brecha entre el suministro disponible y la demanda de agua dulce en un área determinada, bajo las disposiciones institucionales y las condiciones de infraestructura existente (FAO, 2013). En otras palabras, definen la escasez de agua como el exceso de demanda de agua para el suministro disponible.

Según la FAO las causas de la escasez hídrica pueden tener diferentes naturalezas, la escasez física y la escasez económica de agua.

La escasez física del agua sucede cuando no existe agua suficiente para satisfacer la demanda de agua de las personas, incluyendo las necesidades ecológicas. Lo que podría verse reflejado en la degradación del medio ambiente, reducción de aguas subterráneas y favorecimiento de un sector sobre el otro (FAO, 2013).

La escasez económica del agua por otro lado está relacionada con la inversión en agua, o con la falta humana para satisfacer su demanda. Lo que podría significar, un escaso desarrollo de infraestructuras, a pequeña o gran escala, lo que se traduce en complicación para obtener agua, o una distribución desigual pese a poseer infraestructuras (FAO, 2013).

Pero muchos factores inciden en que se presenten escenarios de escasez hídrica en un país, entre ellos el ciclo hidrológico, el crecimiento demográfico, el desarrollo económico, la urbanización y la contaminación está ejerciendo bastante presión en los recursos hídricos renovables como se mencionó anteriormente.

Otra definición de escasez hídrica corresponde a la abundancia volumétrica o la falta de agua, típicamente calculada como la relación entre la demanda de consumo humano de agua y el suministro u oferta de agua disponible en un área en específico (Schulte, 2014).

El indicador de Falkenmark permite dimensionar el nivel de escasez hídrica en un país, el cual corresponde al agua dulce renovable per cápita anual, en donde se utilizan valores umbrales como los 500 m³ per cápita al año que significa una escasez absoluta de agua, entre 500 y 1.000 m³ per cápita anual representa escasez crónica de agua, entre 1.000 y 1.700 se dice que se encuentra en estrés hídrico y sobre los 1.700 m³/pers/año se dice que se encuentra en estrés hídrico localizado u ocasional (FAO,2013). Pero este indicador no siempre es representativo para algunos países, ya que simplifica demasiado la situación hídrica, ignorando factores locales como el acceso al agua, pero es utilizado mucho ya que es fácil de calcular para cada país del mundo por los niveles de datos que existen en cuanto a recursos hídricos y población (FAO, 2013). Según la Fundación Amulén en su estudio *La Sequía: La Brecha Más Profunda*, señala gran parte de Chile se encuentra bajo de los 1.000

m³/pers/año incluyendo las regiones Metropolitana y de Valparaíso (Fundación Amulén, 2019).

Por otra parte surgen otros términos para definir los problemas hídricos que experimentan diferentes países a lo largo del mundo, uno de ellos es el estrés hídrico, el cual hace alusión a la capacidad, o la falta de ella para satisfacer las demandas humanas y ecológicas de agua (Schulte, 2014), en comparación con la escasez hídrica, este concepto es más amplio e inclusivo, ya que considera varios aspectos físicos relacionados con los recursos hídricos, incluida la escasez hídrica, la calidad del agua, los caudales ambientales y la accesibilidad de ella, esta última relacionada a la suficiencia de la infraestructura y la asequibilidad del agua.

Pero estos conceptos están relacionados, el estrés hídrico es un concepto más amplio, que engloba la escasez de agua y diversos factores como se mencionó anteriormente, por esta razón es una buena forma de medir el riesgo que puede tener un país en cuanto al suministro de agua, pero a su vez al ser un concepto más amplio, tiende a ser más subjetivo por lo que su cálculo se complejiza. Por eso es imperante definir métricas simples que puedan ser aplicados a todos los casos. (Schulte, 2014).

El WRI, World Resource Institute por sus siglas en inglés, actualmente cuenta con una herramienta para medir el riesgo hídrico de un país, Aqueduct Water Risk Atlas, en el cual se consideran 13 indicadores, los cuales son englobados en 3 grandes grupos, la cantidad de riesgo físico, la calidad de riesgo físico y riesgo regulatorio y reputacional. Uno de estos indicadores que conforma parte del grupo de la cantidad del riesgo físico, es el estrés hídrico de referencia. Este indicador refleja la relación entre las extracciones totales de agua y los suministros de agua superficial y subterránea renovables disponibles, dentro de estas extracciones se consideran las extracciones para uso doméstico, industriales y de agricultura.

En el año 2019, 17 países, los que albergan un cuarto de la población mundial enfrentaban escenarios de estrés hídrico extremo, en donde las extracciones de agua para uso doméstico, industrial y de agricultura superan el 80% en relación con los suministros de agua disponible (WRI, 2019). Dentro de este análisis, Chile ocupa la posición número 18, por lo

tanto, encabeza el grupo de los países con un estrés hídrico alto, entre el 40-80%, quedando ad-ortas de entrar al grupo de países con un estrés hídrico extremo (WRI, 2019).

Pero Chile es un país que tiene una diferencia en sus condiciones geográficas y estacionales a lo largo y ancho del país, siendo la zona norte y centro del país las más afectadas por la escasez de agua. Según el Atlas del Agua desarrollado por la Dirección General de Aguas de Chile y de acuerdo con el indicador de Falkenmark, desde el norte del país hasta la región Metropolitana la disponibilidad anual per cápita de agua no supera los 500 m³, en algunas regiones, como es en el caso de Antofagasta, se dispone menos de 50 m³ per cápita al año, una cifra preocupante, bastante menor a los 1.000 m³ que suponen estar en estrés hídrico. En cambio, en el sur de Chile hay sectores que superan los 10.000 m³ per cápita al año, mientras que en la zona austral del país se superan los 2 millones de metros cúbicos al año por habitante (DGA, 2016), lo que evidencia la diferencia de la disponibilidad del agua a nivel nacional.

Capítulo V: Aguas Grises

En este capítulo se abordará de manera detallada las aguas grises, para ello se definirá de manera clara que son estas aguas residuales, de donde provienen, sus características y composición, además de explicar los diferentes mecanismos que existen para su tratamiento y los usos que se le pueden dar para su reutilización.

5.1 Definición y Caracterización de Aguas Grises

Las aguas grises domiciliarias son todas aquellas aguas residuales domesticas no tratadas que no han estado en contacto con aguas negras, las cuales están contaminadas con heces u orinas. Normalmente son aguas residuales producto del uso de lavamanos, duchas, lavaplatos de cocinas y lavadoras de ropa (Pacific Institute, 2010). A su vez presentan una baja carga orgánica y microbiológica por lo que su tratamiento resulta más sencillo que las aguas servidas domésticas, las que incorporan aguas negras (Aqua España, 2018), por lo tanto, su depuración no requiere un tratamiento intensivo de purificación.

5.2 Composición de las Aguas Grises Domesticas

Como se mencionó anteriormente las aguas grises son aguas residuales generadas por el uso de lavamanos, duchas, lavaplatos o lavadoras de ropa que no están contaminadas por excretas u orinas o que su concentración es muy pequeña, pero pese a eso las aguas grises generadas en estas fuentes presentan diferentes contaminantes. En la tabla a continuación se muestran diferentes fuentes que generan aguas grises en el hogar y los posibles contaminantes que pueden encontrarse en ellas.

Tabla 5.2-3: Tipos de contaminantes según fuente de aguas grises

Fuente de aguas grises	Contenidos posibles
lavadora de ropa automatica	Sólidos en suspensión (suciedad, pelusa), material orgánico, aceite y grasa, sodio, nitratos y fosfatos (del detergente), aumento salinidad y pH, lejía
Lavaplatos automático	Materia orgánica y sólidos en suspensión (de los alimentos), bacterias, aumento de la salinidad y el pH, grasas, aceites y grasas, detergente
Bañera y ducha	Bacterias, pelo, materia orgánica y sólidos en suspensión (piel, partículas, pelusa), aceite y grasa, residuos de jabón y detergente
Fregaderos, incluida la cocina	Bacterias, materia orgánica y sólidos en suspensión (partículas de alimentos), residuos de grasa, aceite y grasa, jabón y detergente

Fuente: Pacific Institute, 2010.

Los contaminantes que se mencionan en la Tabla 5.2-3 alteran la composición física, química y microbiológica del agua. En algunos países donde cuentan con regulación y estándares para las aguas grises, las aguas provenientes de los fregaderos de cocina, lavadoras de platos automáticas y lavadoras de ropa son consideradas aguas grises oscuras y en algunos casos considerados parte de las aguas negras, y no son reutilizadas debido a que contienen material orgánico el cual puede contribuir en la proliferación de bacterias (Pacific Institute, 2010), por lo tanto las aguas residuales domesticas pueden ser clasificadas en aguas grises, aguas grises oscuras y aguas negras.

La contaminación orgánica e inorgánica a causa de la higiene personal, afecta la calidad del agua, las aguas grises pueden contener, jabones, champús, dentífricos, cremas para afeitar, detergentes, pelos, aceites corporales, y cosméticos en general, junto con restos de tierra arena y suciedad, por lo tanto, los valores de los parámetros químicos y microbiológicos del agua se ven afectados (Pacific Institute, 2010).

En la tabla a continuación, podemos ver los rangos de los valores de los parámetros de las aguas grises que son vertidos como aguas residuales según Aqua España.

Tabla 5.2-4: Rango del Valor de los Parámetros en Aguas Grises Domiciliarias

Parámetro	Valor
Sólidos en suspensión	45-330 mg/l
Turbidez	22-200 NTU
DBO ₅ (O ₂)	90-290 mg/l
Coliformes totales	10 ¹ -10 ⁶ UFC/100 ml
Escherichia Coli	10 ¹ -10 ⁵ UFC/100 ml
Nitrógeno Kjeldahl (N)	2,1-31,5 mg/l

Fuente: Aqua España, 2018.

5.3 Reutilización de Agus Grises

La reutilización de las aguas grises puede ser destinada a diferentes usos, a nivel doméstico pueden ser reutilizadas en la recarga de inodoros, lavado de autos y riego del jardín, también para el riego de ciertos árboles frutales y vegetales, a excepción de los que crecen en el suelo y se consuman crudos (Pacific Institute, 2018). Lo más común es la recarga de cisternas de inodoros, ya que los sistemas que reutilizan el agua para esto en general no realizan un proceso de tratamiento previo o uno muy simple antes de reutilizar el agua.

Las aguas grises pueden ser reutilizadas también en riego, en general los países que implementan SRAG para riego, deben cumplir con estándares mínimos para poder ser utilizadas.

En cuanto a las aguas grises que han pasado por un tratamiento previo, su uso puede ser destinado para el riego de áreas verdes, jardines y áreas comunes, además de la recarga de inodoros y para lavar autos, pero su reutilización dependerá de la calidad del agua, y que cumpla con los parámetros normados, en países que tengan regulación en materias de aguas grises.

En la mayoría de los países donde las aguas grises son reutilizadas a nivel doméstico o municipal, existen estándares mínimos que deben cumplir las aguas grises para su posterior

reutilización, los cuales variarían según el destino que se le quiera dar, ya sea recarga de inodoros, riego de jardines, lavado de auto o uso para aéreas verdes comunes.

La resolución exenta n°404 del Ministerio de Salud del año 2021 (RE-404), en su artículo 35 especifica la calidad que debe tener el agua gris que será reutilizada según el uso que se le quiera dar. Se proporcionará las tablas de los usos para los que se pueden reutilizar las aguas grises y los parámetros de su composición.

El uso urbano según el proyecto de reglamento contempla la recarga de cisternas de inodoros o urinarios y el riego de jardines privados, los que deben cumplir con los siguientes parámetros.

Tabla 5.3-5: Usos Urbanos

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO ₅	mg/l	10
SST	mg/l	10
CF	UFC/100 ml	10
Turbiedad	UNT	5
Cloro libre residual	mg/l	$0,5 \leq X \leq 2$

Fuente: Resolución Exenta n°404 del Ministerio de Salud del Año 2021

El riego de áreas recreativas y servicios, como el riego de áreas verdes con libre acceso al público, tales como parques, áreas verdes de establecimientos educacionales, cementerios y campos deportivos, deberán cumplir con los siguientes niveles de calidad, los cuales varían dependiendo del tipo de riego, ya sea superficial o subsuperficial.

Tabla 5.3-6: Riego Áreas Recreativas y Servicios

Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		Riego superficial	Riego subsuperficial
DBO ₅	mg/l	30	240
SST	mg/l	30	140
CF	UFC/100 ml	200	1000
Cloro libre residual	mg/l	$0,5 \leq X < 2$	----
Turbiedad	UNT	10	----

Fuente: Resolución Exenta n°404 del Ministerio de Salud del Año 2021

Por otro lado, el riego ornamental, que incluye el riego de áreas verdes y jardines ornamentales, solo con fines estéticos y de decoración que no permiten el acceso al público. Los parámetros de las aguas grises reutilizadas en esta actividad quedan definidos en la tabla a continuación.

Tabla 5.3-7: Riego Ornamental

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO ₅	mg/l	70
SST	mg/l	70
CF	UFC/100 ml	1000
Turbiedad	UNT	30

Fuente: Resolución Exenta n°404 del Ministerio de Salud del Año 2021

5.4 Sistemas De Reutilización de Aguas Grises

Los sistemas de reutilización de aguas grises, SRAG por sus siglas en español, buscan reutilizar las aguas grises domésticas, las cuales pueden ser tratadas antes de su uso o no, para fines no potables, como paisajismo, agricultura y llenado de inodoros para su posterior descarga, lo que se traduce en un ahorro en el consumo de agua potable, también pueden ser infiltradas en acuíferos para su preservación, reduciendo así el volumen de aguas residuales que deben ser tratadas (Pacific Institute, 2010).

Los SRAG pueden ser separados en dos grandes grupos, los SRAG sin tratamiento y los SRAG con tratamiento, como su nombre lo dice los primeros son sistemas simples que reutilizan el agua de forma directa, sin un previo tratamiento, generalmente las aguas grises son reutilizadas de forma directa en la recarga de inodoros o para riego, no muy recomendado, en países que cuentan con estándares, se exige un tratamiento previo para ser reutilizada en el riego y que los parámetros del agua gris tratada cumplan con los estándares mínimos que dependerán de su destino final. Por otra parte, los SRAG que cuentan con tratamiento, se pueden subdividir en 3 grupos según la Guía Técnica de Aguas Grises desarrollada por Aqua España, siendo los siguientes: sistemas con tratamiento físico, tratamiento fisicoquímico y tratamiento biológico (Aqua España, 2018).

5.4.1 Sistemas Sin Tratamiento

Estos SRAG son más simples, ya que como su nombre lo dice no existe un tratamiento del agua gris previo a reutilizar, también son conocidos como sistema de desviación de aguas grises (Pacific Institute, 2010).

Según Pacific Institute estos sistemas reutilizan las aguas grises de forma inmediata a los estanques de inodoro para su lavado, riego al aire libre o a humedales de tratamiento. En general estos sistemas cuentan con una red de tuberías que conectan las fuentes de origen de las aguas grises a la fuente de destino. Algunas veces estos sistemas pueden contar con cierto tipo de filtración, para capturar pelusas u otro tipo de objetos, también pueden incluir desinfección como pastillas de cloro al interior de los estanques de agua.

5.4.2 Sistemas Con Tratamiento

Los métodos para el tratamiento de las aguas grises son variados, pero en general cumplen con 3 etapas: Una de captación y almacenamiento de aguas grises sin tratar, una de tratamiento y otra de almacenamiento e impulsión del agua tratada. (Aqua España, 2018).

Tratamiento físico

Corresponde a los sistemas que separan las grasas y aceites del agua por flotación, y las partículas sólidas por decantación, generalmente utilizan sistemas de filtración tipo malla, anillas, arenas, etc., con o sin previa separación de sólidos y/o grasas. Estos tratamientos pese a ser bastante económicos, no son muy eficientes por sí solos para el tratamiento de aguas grises, por lo que hoy en día son utilizados como pretratamiento del agua. (Aqua España, 2018).

Tratamiento Físicoquímico

Según The Pacific Institute estos sistemas utilizan principalmente desinfección y filtración para eliminar contaminantes. En general, incluyen tanques de retención, filtros de diferentes tipos, bombas y tuberías, pueden llegar a utilizar bastante espacio o superficie, ya que se requiere espacio para mantener estanques y unidades de filtración.

Por otra parte, la filtración permite entre otras cosas separar aceites y grasas, partículas en suspensión, materia orgánica y turbidez, mientras que la desinfección con cloro, ozono o luz ultravioleta es altamente efectiva en la eliminación de bacterias siempre y cuando sea apropiadamente diseñado y operado (Pacific Institute, 2010).

Tratamiento Biológico

Los tratamientos biológicos son variados, pero todos tienen el mismo objetivo, degradar la materia orgánica presente en el agua gris utilizando microorganismos, cuyo crecimiento es favorecido al aportar oxígeno al sistema.

Dentro de estos sistemas podemos destacar tres:

- ❖ Reactores secuenciales: aquellos que utilizan un proceso biológico con fangos activos o lodos activados. Este proceso se lleva a cabo de forma discontinua en varias etapas, llenado, aireación, decantación y separación (Aqua España, 2018).
- ❖ Reactores biológicos de membrana: estos sistemas además del proceso biológico incorporan membranas de microfiltración o ultrafiltración para la separación de los sólidos en suspensión y/ o coloides, de la carga microbiana, así como de compuestos orgánicos de elevado peso molecular (Aqua España, 2018).
- ❖ Sistemas biológicos naturalizados: utilizan un determinado tipo de vegetación para la aportación natural de oxígeno al agua, lo que favorece a los microorganismos, los que forman una biocapa sobre un sustrato que está en contacto con el agua a tratar. (Aqua España, 2018).

Capítulo VI: Consideraciones Para la Implementación de un SRAG

Como se ha discutido a lo largo de esta investigación, las presiones que se están experimentando en cuanto al suministro de agua dulce ponen en riesgo la disponibilidad futura de este recurso, por lo que estar preparado y tomar acciones antes para adaptarse a esos cambios es vital para no afectar la calidad de vida de las personas, sobre todo los más afectados por la escasez de agua.

En esta investigación, el principal objetivo es analizar el potencial de la reutilización de aguas grises en un hogar, y analizar si es una buena medida para implementar en los diseños de las futuras viviendas que se construyan en el país. Por este motivo, antes de querer implementar un SRAG en un hogar es necesario tener en consideración varios factores, los que se detallaran en esta sección.

Chile actualmente dispone de una ley vigente para la fiscalización y control para la reutilización de aguas grises, la Ley 21.075, la cual busca regular la recolección, reutilización y disposición de aguas grises. El único inconveniente es que actualmente no se dispone de un reglamento para poder aplicarla. Por lo que el diseño, implementación, fiscalización y aprobación de un proyecto que contemple un sistema de reutilización de aguas grises deberá estar sujeto a lo estipulado en el proyecto de reglamento para la ley 21.075, al cual corresponde a la resolución exenta n°404 del Ministerio de Salud del año 2021.

6.1 Generalidades

Como se mencionó en el capítulo anterior los SRAG domésticos cuentan con 3 etapas en general, por lo que es importante analizar cada una de ellas y recopilar la mayor cantidad de información, respecto a la captación y almacenamiento de las aguas grises sin tratar, el tipo de tratamiento que recibirán las aguas, además del almacenamiento, impulsión y distribución de las aguas grises tratadas. Para ello es importante calcular los volúmenes de agua generados en el hogar, especificar que volúmenes corresponden a aguas grises, aguas

negras y cuáles son las fuentes donde se reutilizaran estas aguas, lavamanos, duchas, lavadoras de ropa, lavaplatos automático, etc., además de determinar la demanda de aguas grises tratadas para su disposición final.

La calidad de las aguas grises generadas es otro factor para considerar, ya que como se comentó en el capítulo V, estas aguas varían en composición según la fuente de donde procedan. Por lo que será necesario un tratamiento adecuado para poder ser reutilizadas en alguno de los usos definidos en la RE-404.

En el caso nacional, todo sistema de reutilización de aguas grises deberá contar con un proyecto que sea aprobado por la Secretaria Regional Ministerial (SEREMI) de Salud, cumpliendo lo estipulado en el artículo 4 de la Ley 21.075.

6.2 Consumo de Agua del Hogar

El consumo del agua dentro de los hogares depende de muchos factores, por esta razón es importante considerar la mayor cantidad de ellos para lograr una estimación correcta si se desea implementar un sistema de reutilización de aguas grises. Dentro de estos tenemos el número de habitantes que viven dentro del hogar, los diferentes artefactos que se utilizan diariamente, como lo son lavamanos, duchas, lavadoras de ropa o platos, los metros cuadrados de jardín que posea la propiedad, si se cuenta con piscina, autos, mascotas, la estacionalidad, la ubicación geográfica de la vivienda, entre otros.

Para poder tener una aproximación correcta de estos volúmenes de agua que demandará el hogar, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en su documento titulado Estándares Sustentables Para Viviendas en Chile, señala que se debe separar el consumo de agua del hogar en dos: consumo interno y consumo externo (MINVU, 2018).

Para el cálculo del consumo interno de agua en el hogar, es necesario identificar el número de habitantes, su sexo, si son habitantes permanentes o transitorios. Luego identificar los diferentes artefactos que utilizan agua, conocer sus caudales y demandas por uso.

Por otra parte, el consumo externo del hogar tiene directa relación con el riego, por lo que es necesario identificar varios factores, como el tipo de vegetación, el tipo de clima, la evapotranspiración y el factor de precipitación efectiva de la zona (MINVU, 2018).

Dentro de los consumos externos del hogar se pueden considerar el llenado de piscinas en caso de que la vivienda posea una y el lavado de autos si es que el propietario tiene uno o más.

Dentro de la estimación que se realice se debe separar los caudales necesarios para cada una de las actividades del hogar, lo que permite a la hora de querer implementar un SRAG domiciliario, conocer la demanda de consumo de agua para el riego de jardines, el llenado de inodoros, duchas y lavamanos, entre otros.

6.3 Calidad de las Aguas Grises Recolectadas

La calidad del agua gris como se mencionó anteriormente depende entre otros factores de los contaminantes que se mezclan en las diferentes fuentes donde se producen estas aguas residuales. Por lo que identificar bien las fuentes donde se recolectara el agua, será de gran relevancia para saber sobre la calidad del agua, ya que dependiendo del uso que se le quiera dar, su calidad variara por lo que habrá que identificar qué sistema de tratamiento es más apropiado para el sistema.

6.4 Calidad de las Aguas Grises Tratadas

La calidad de las aguas grises generadas por el SRAG, para poder ser reutilizadas, deberán cumplir con los rangos estipulados por los manuales correspondientes para el uso final al cual se destine el agua gris tratada. Para ello será importante definir las fuentes donde se captarán estas aguas y en donde se querrán reutilizar, para así poder identificar el mejor tratamiento que permita cumplir con la calidad deseada.

6.5 Uso del Agua Gris Tratada

El tipo de tratamiento de aguas grises para un SRAG domestico dependerá de la calidad del agua de entrada, la cual varia significativamente dependiendo de la fuente donde sean captadas las aguas grises, como se mencionó en el capítulo anterior, y del destino final para el cual serán dispuestas estas aguas grises tratadas, que como se comentó anteriormente dependerá de las especificaciones de los reglamentos para cada país.

6.6 Consideraciones

La resolución exenta n°404 del Ministerio de Salud del año 2021, RE-404, se refiere en su artículo 12 al sistema de reutilización de aguas grises, disponiendo que estos deberán ser independiente de los sistemas de agua potable y alcantarillado. Puede estimarse que dicha disposición hace alusión a que la red de tuberías de aguas grises debe ser independiente de aquellas de agua potable y alcantarillado, por lo que las tuberías de captación de aguas grises del sistema deberán ser independientes. Asimismo, las tuberías deberán ser de color morado para diferenciarlas de las demás, de acuerdo con lo ordenado por el artículo 13 de la misma resolución.

El artículo 15 de la RE-404 establece una prohibición general de almacenar aguas grises, pero consagra al mismo tiempo una importante excepción al señalar *“La planta de tratamiento de aguas grises podrá contemplar entre sus unidades un estanque de homogeneización, para amortiguar las variaciones de caudal y concentración que se producen en las aguas grises generadas durante el periodo de 24 horas. Dicho estanque deberá estar ubicado en el lugar de emplazamiento de la planta de tratamiento de aguas grises y para los efectos de este reglamento, no será considerado estanque de almacenamiento, sino que parte de las unidades de tratamiento”*.

Capítulo VII: Análisis y Resultados

En este Capítulo, en primer lugar, se desarrolló una encuesta con la finalidad de generar conciencia de que el suministro de agua se está viendo amenazado por la escases de agua, la creciente demanda por este recurso y los efectos adversos que conlleva el cambio climático. Conocer el porcentaje de los encuestados que toman medidas para reducir el consumo de agua en su hogar y conocer los parámetros que más valoran del agua, como la calidad, el precio, la disponibilidad sin restricciones y la cantidad. También se busca conocer el conocimiento de los encuestados sobre los sistemas de reutilización de aguas grises domésticos, si les parece una buena forma de reducir el consumo del agua, ver su interés por implementar estos sistemas sin saber el costo y cuanto estarían dispuestos a pagar por un sistema como estos. Se preguntó, además, si el Estado de Chile debería cumplir un rol más activo para fomentar estos sistemas y cuales medidas podrían efectuar el Estado en caso de que estén a favor.

En segundo lugar, se analizó en detalle el potencial de reutilización de aguas grises doméstico, para ello se contempló la implementación de un SRAG en una vivienda unifamiliar, donde se tomaron las consideraciones de los Capítulos anterior para su correcta instalación y funcionamiento. Se calculó el ahorro de agua que generaría el SRAG, al reutilizar las aguas de los lavamanos, duchas y lavadora, para el llenado de estanques de inodoro y riego.

Por otra parte, se analiza los beneficios privados que este sistema pueda otorgar a la familia y si es un proyecto atractivo desde el punto de vista económico. Para ello se estimaron en primer lugar la inversión requerida para el proyecto, los gastos y los ingresos del sistema, considerando los costos de la instalación como una inversión, la mantención y funcionamiento como los gastos y la diferencia de la cuenta de agua como un ingreso mensual. En segundo lugar y en base a las estimaciones anteriores y las respuestas de la encuesta, se realizó un flujo de caja para diferentes escenarios del proyecto, donde se analizó el criterio del VAN y la TIR.

7.1 Encuesta

Con el fin de tener una noción sobre el conocimiento de los sistemas de reutilización de aguas domésticos de la población chilena, su interés por implementarlos y su disponibilidad a pagar, se desarrolló una encuesta, la que alcanzó un total de 201 respuestas. La encuesta consta de 18 preguntas, se tomó como referencia la encuesta desarrollada en la investigación de Pinto & Maheshwari (2010) titulada como *Reuse of Greywater for Irrigation Around Homes in Australia: Understanding Community Views, Issues and Practices*. Las preguntas realizadas quedan resumidas en la Tabla 7.1-8, además se podrá ver en el Anexo 1 la encuesta con sus respectivas preguntas y las diferentes opciones de respuesta para cada una.

Tabla 7.1-8: Preguntas Encuesta Sistemas de Reutilización de Aguas Grises Domiciliarios en Chile

1. ¿En qué grupo de edad se encuentra?
2. ¿En qué región del país vive?
3. ¿En qué tipo de vivienda vive?
4. ¿Cuántas personas viven usualmente en su hogar?
5. ¿En qué grupo se encuentra el nivel de ingresos de su hogar?
6. ¿Cuál o cuáles de los siguientes parámetros considera más importante respecto al agua? (Puede escoger más de una opción)
7. ¿La actual escasez de agua en diferentes comunas de Chile, principalmente en la zona Norte y Centro del país, le preocupan?
8. ¿La comuna en donde vive se encuentra en estrés hídrico?
9. ¿Toma medidas en su hogar para reducir el consumo de agua? (Por ejemplo, duchas cortas, no dejar correr el agua al lavar los dientes, aireadores de duchas y/o lavamanos, inodoros doble descarga, sistemas de captación de aguas lluvia, entre otros.)
10. De las siguientes iniciativas, señale la o las que encuentre mejor para el cuidado del agua. (Puede marcar más de una opción)
11. ¿Ha oído hablar de los sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios?
12. La AGUAS GRISES DÓMESTICAS son aquellas aguas residuales generadas en duchas, lavamanos, lavadoras y lavavajillas, que pueden ser reutilizadas para el llenado de inodoros, riego de jardines y/o espacios verdes comunes. ¿Qué beneficios cree usted que tiene la reutilización de aguas grises? (Puede escoger más de una opción)

13. Si le dijeran que un sistema de reutilización de aguas grises podría reducir su consumo de agua hasta en un 40%, ¿estaría dispuesto usted a instalar uno en su hogar?
14. Si su respuesta anterior fue sí. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la instalación de un sistema de reutilización de aguas grises en su hogar? (Asuma que el pago puede ser realizado en 12 cuotas mensuales sin interés)
15. En el caso de que usted quisiera adquirir/arrendar/mudarse a una nueva propiedad, y esta contara con un sistema de reutilización de aguas grises, ¿lo consideraría como un valor adicional?
16. Actualmente en Chile existen pocos proyectos que contemplan sistemas de reutilización de aguas grises, aunque cada vez hay más iniciativas, gran parte de la población desconocen de estos o sabe poco sobre el tema, ¿crees que el Estado debería incentivar la instalación de estos sistemas, para reducir el consumo de agua?
17. Si tu respuesta anterior fue sí, de las siguientes acciones escoja la o las que le parezcan mejores para incentivar la instalación de estos sistemas en los hogares.
18. Si la actual crisis del agua continúa, ¿cree usted que la gente debería reutilizar más aguas grises en el futuro?

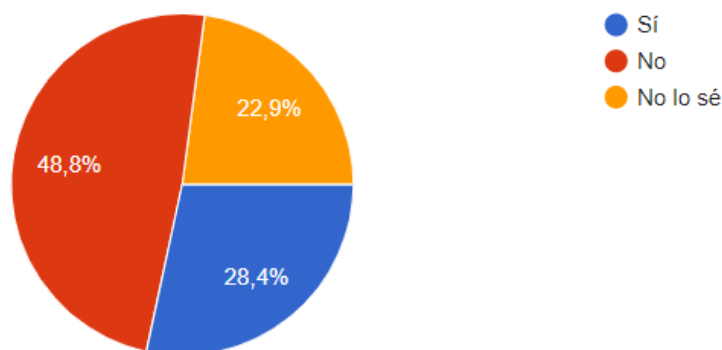
Fuente: Elaboración propia.

7.1.1 Resultados Encuesta

La encuesta logro reunir un total de 201 respuestas, en donde el 86,6% aseguro que la Calidad del Agua es el parámetro que más valoran de ella, seguido por la disponibilidad sin restricciones con un 48,3%. La mayoría de los encuestados afirman ser conscientes del problema de escasez de agua que sufre el país y al 48,8% le afecta el problema.

El estrés hídrico es un término que no es conocido por la mayoría de las personas, y quedo en evidencia al preguntar por ello, ya que el 22,9% de los encuestados no saben si la comuna en donde viven se encuentra o no en estrés hídrico.

Figura 7.1-9: Resultado Pregunta 8: ¿La comuna en donde vive se encuentra en estrés hídrico?



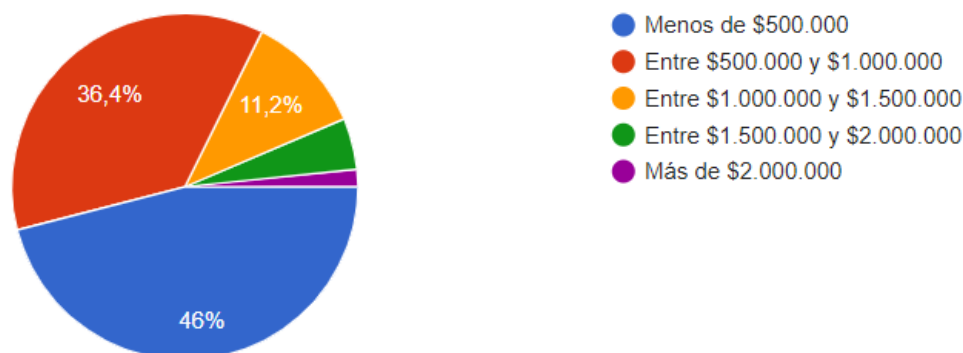
Fuente: Elaboración propia.

Si bien el 79,1% asegura que toman medidas para reducir el consumo de agua, como cerrar la llave al lavarse los dientes, duchas cortas, sistemas de doble descarga en inodoros y aireadores para lavamanos y duchas, un 20,9% afirmó no hacerlo. Además, dentro de las medidas para reducir el consumo de agua, la mayoría sostuvo que la mejor opción era reducir el consumo personal de agua, seguido por la reutilización de aguas grises, la recolección de aguas lluvia, horarios de prohibición de riego y por último incrementar el precio del agua.

En cuanto a los SRAG domésticos, un 59,7% dice haber escuchado sobre estos sistemas. Luego de definir brevemente qué son las aguas grises y como se pueden reutilizar, el 80,6% de los encuestados creen que se reduce el consumo de agua potable en el hogar.

Al afirmar que la reutilización de las aguas grises en el hogar puede significar un ahorro del 40% en el consumo del agua potable y sin mencionar el costo de un SRAG, el 38,3% estaría dispuesto de implementar un SRAG sin importar el costo, mientras que el 56,7% estaría dispuesto, pero dependería del costo del sistema. Aquellos que se mostraron a favor de la implementación de estos sistemas, la mayoría, o sea el 46%, pagaría menos de \$ 500.000 pesos chilenos por la implementación de un SRAG en su hogar, el 36,4% estaría dispuesto a pagar entre \$ 500.000 y \$ 1.000.000 de pesos por implementar estos sistemas, un 11,2% pagaría entre \$ 1.000.000 y \$ 1.500.000, mientras que el resto estaría dispuesto a pagar sobre \$1.500.000, correspondiente al 6,4% de los encuestados.

Figura 7.1.1-10: Resultado Pregunta 14: Si su respuesta anterior fue sí. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la instalación de un sistema de reutilización de aguas grises en su hogar? (Asuma que el pago puede ser realizado en 12 cuotas mensuales sin interés)

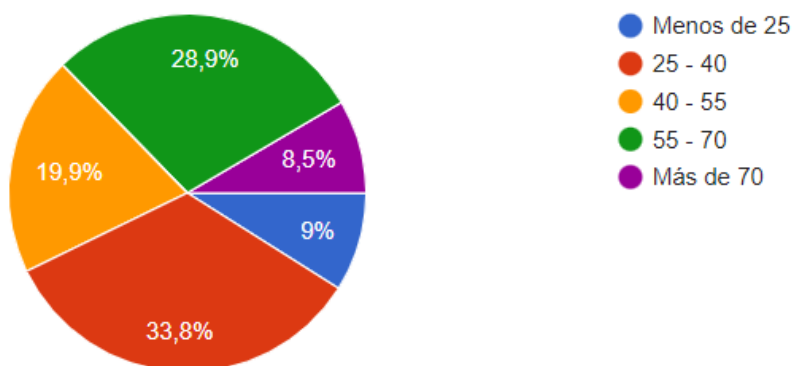


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente el 98% de los encuestados encuentra que el Estado de Chile debería fomentar los sistemas de reutilización de aguas grises, para ello se preguntó cuales iniciativas serían las mejores para fomentar la instalación de estos sistemas, donde destacaron: Proyectos públicos que contemplen la reutilización de aguas grises (71,1%); educar a los niños de enseñanza básica, en escuelas, liceos y colegios sobre la reutilización de aguas grises (70,1%); subsidios parciales o completos según nivel socioeconómico (69%); difusión de las ventajas y el ahorro que conlleva un sistema de reutilización de aguas grises (66,5); y subsidios completos, para personas que viven en zonas de escasez de agua (55,8%). Además, se destacan comentarios como la obligatoriedad de estos sistemas para futuros edificios y campañas de educación en zonas con y sin escasez hídrica.

Con la finalidad de definir grupos etarios de interés, ya que para el estudio se asumió que las personas mayores a 25 años son quienes tienen poder adquisitivo, arriendan o están pagando por una vivienda, y son quienes pueden tomar una decisión frente a las mejoras que deseen realizar en el hogar. En la Figura 7.2-11 se muestra el rango de edad en los que se encuentran los encuestados.

Figura 7.1.1-11: Resultado Pregunta 1: ¿En qué grupo de edad se encuentra?



Fuente: elaboración propia.

El 91% de las encuestados es mayor a los 25 años, por lo que se puede asumir que son personas que pueden tomar decisiones en cuanto a la implementación de un sistema de aguas grises en su hogar.

El conocimiento sobre los sistemas de reutilización de aguas grises fue mayor en el grupo de personas mayores a 55 años, donde el 65,3% afirma conocer estos sistemas, versus el 56,5% de los que se encuentran en el grupo entre los 25 y los 55 años. Pese a esto del grupo de personas que se encuentran entre los 25 y los 55 años, el 51,9% de ellos está dispuesto a pagar sobre los 500.000 pesos por un SRAG, mientras que el grupo sobre los 55 años, solo el 40% está dispuesto a pagar sobre la cifra anterior.

7.2 Antecedentes Generales del Proyecto

El proyecto en donde se evalúa el potencial de reutilización de aguas grises corresponderá a un hogar unifamiliar en donde se desea implementar un SRAG, el cual busca reutilizar las aguas generadas por las duchas y lavamanos de los baños y la lavadora del hogar, para posteriormente ser reutilizadas en el llenado de inodoros. En caso de que los volúmenes de aguas grises generados en el hogar sean mayores, se podrá analizar la posibilidad de

reutilizar las aguas grises para riego de jardín el cual dependerá de los metros cuadrados de este.

Es importante destacar que el SRAG deberá contar con una red de tuberías independientes para la circulación de las aguas grises recolectadas hacia su punto de tratamiento y posterior reutilización, además las tuberías seleccionadas para este sistema que transportarán las aguas grises crudas y aguas grises tratadas irán en paralelo con las de agua potable y la red de alcantarillado, la cual debe estar sobre la de alcantarillado y bajo la de agua potable según lo estipulado en la Ley 21.075.

Se contempla que el proyecto tendrá una duración de 25 años, supuesto que se realizó en base a la duración de estudios de un hijo desde que nace y termina sus estudios de enseñanza básica, media y técnico o profesional, ya que se asume que la familia que viva en el hogar no cambiará de domicilio hasta antes de los 25 años.

7.3 Ubicación del Proyecto

Al querer incorporar un sistema de reutilización de aguas grises, es necesario definir un lugar estratégico, en donde el beneficio de ahorrar agua no solo sea un ahorro económico, sino que influya de forma positiva en la calidad de vida de las personas que disponen menos de estos recursos.

Por este motivo se decidió tratar con un hogar en una comuna del norte de Chile, ya que su condición desértica, implica en numerosas ocasiones periodos de sequía y escasez de agua. Por lo que reutilizar el agua dentro del hogar puede ser una medida que permita ahorrar agua, y afrontar estos periodos de escasez.

Para el análisis que se desea realizar, se contempló la Comuna de Antofagasta, que al igual que 101 comunas de Chile, están decretadas como comunas con escasez hídrica según el Ministerio de Obras Publicas de Chile (MOP, 2021).

7.4 Características de la Vivienda

La vivienda donde se desea implementar el SRAG, debe cumplir con las características de un hogar sujeto al decreto supremo 19, en adelante DS19, en donde la vivienda debe contar con 4 ambientes como mínimo y 47 m² construidos.

Para este caso, la vivienda está conformada por 3 dormitorios y 2 baños. Ambos baños de la vivienda cuentan con un inodoro, un lavamanos y una ducha. La casa dispone también de un lugar para una lavadora de ropa, pero no para una lavadora automática de platos. Se asumió que el número de habitantes es de 4 personas.

7.5 Consumo de Agua Potable

Antes de poder implementar un sistema de reutilización de aguas grises es necesario conocer el consumo de agua potable dentro del hogar, se debe comprender en detalle cuantos son los litros de agua que se necesitan al día para las diferentes actividades que se realizan en el hogar, como se detalla en la Tabla 7.5-9.

Tabla 7.5-9: Estimación del Consumo de Agua Potable de la Vivienda

Artefacto	Volumen (L/día)	Total (m3/mes)	Consumo total (%)
Inodoro (<i>i</i>)	160	4,8	34,0%
Consumo Humano (<i>h</i>)	8	0,24	1,7%
Lavamanos (<i>l</i>)	16	0,48	3,4%
Duchas (<i>d</i>)	160	4,8	34,0%
Lavaplatos Cocina (<i>lc</i>)	64	1,92	13,6%
Lavadora (<i>lr</i>)	40	1,2	8,5%
Lavado del auto (<i>a</i>)	6,7	0,2	1,4%
Riego (<i>r</i>)	15,3	0,46	3,3%
Consumo Total (C_T)	470	14,1	100%

*Los volúmenes calculados son una estimación, no son un fiel reflejo de la realidad, por lo que puede estar sujeta a cambios en caso de que se consideren diferentes caudales por artefacto o mayores o menores usos diarios, lo mismo ocurre en el número de usos para lavadoras de ropa e inodoro.

Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados obtenidos en la de la Tabla 7.5-9 se utilizaron las ecuaciones que se muestran a continuación, a partir de las ecuaciones utilizadas por Stec & Kordana (2015).

$$C_i = n(u_i \times f_i) \quad (1) \quad C_{lc} = n(c_{lc} \times d_{lc} \times f_{lc}) \quad (5)$$

$$C_{lr} = u_{lr} \times f_{lr} \quad (2) \quad C_h = n \times u_h \quad (6)$$

$$C_l = n(c_l \times d_l \times f_l) \quad (3) \quad C_l = C_i + C_{lr} + C_l + C_d + C_{lc} + C_h \quad (7)$$

$$C_d = n(c_d \times d_d \times f_d) \quad (4) \quad C_{la} = a(u_{la} \times f_{la}) \quad (8)$$

$$C_r = C_T - C_{TI} - C_{la} \quad (9)$$

Donde C corresponde al consumo de agua potable en l/día; u a los litros de agua utilizados por uso del artefacto, aplica para los inodoros, lavadora de ropa y lavado de auto; c a los caudales de los artefactos en l/min; d corresponde a la duración del uso del artefacto en minutos, aplica para los lavamanos, duchas y lavamanos de la cocina; f a la frecuencia del uso en el día del artefacto por día; n corresponde al número total de habitantes de la vivienda; y a corresponde al número de autos.

Además, para su cálculo se tuvieron las siguientes consideraciones:

1. Para el consumo de agua del inodoro (C_i) en l/día, se consideró que cada descarga del inodoro (u_i) consume 10 litros, con una frecuencia de uso (f_i) de 5 veces al día por habitante de la vivienda. Mientras que para el consumo de la lavadora de ropa (C_{lr}) se consideró una frecuencia (f_{lr}) de 12 veces a lo largo de un mes (0,4 veces por día para efectos de cálculo) y cada uso (u_{lr}) requerirá de 100 litros de agua potable.
2. Para los consumos de agua de los lavamanos (C_l), duchas (C_d) lavamanos de cocina (C_{lc}), se utilizaron los caudales en l/min definidos por el MINVU en su documento titulado Estándares de Construcción Sustentable Para Viviendas de Chile (MINVU, 21018), de 4 (l/min) para el lavamanos (c_l), 8 (l/min) para las duchas(c_d) y 4 (l/min) para el lavamanos de la cocina(c_{lc}). Mientras que la duración del uso de lavamanos

(d_i) tomará 0,33 minutos, el de cada ducha (d_d) 5 minutos y cada uso del lavaplatos de la cocina (d_{lc}) 1 minuto. Con una frecuencia de uso por persona de 3 veces al día para los lavamanos (f_i), una vez al día para las duchas (f_d) y 4 veces al día para el lavamanos de la cocina (f_{lc}). Ver ecuaciones (3), (4) y (5).

3. El consumo humano (C_h) está dado por los litros consumidos por las personas en el hogar, ya sea para ingerir, cocinar o trapear. Se consideraron 2 litros de agua diarios por persona (u_h).
4. El consumo de agua potable para el lavado del auto (C_a) dependerá de la cantidad de autos (a) en este estudio se contabilizo 1 solo auto para la vivienda, los litros por cada lavado (u_a), lo que implica 200 litros y con una frecuencia (f_a) de 1 vez al mes en este caso.
5. El consumo total de la vivienda (C_T) corresponderá al promedio del consumo de agua potable del total de clientes residenciales atendidos por las empresas sanitarias en las áreas urbanas concesionadas de la comuna de Antofagasta desde enero del 2023 hasta abril del 2023 del boletín (SISS, 2022), consumo de 470 litros/cliente/día o 14,1 m³/cliente/mes. Por otra parte, el consumo interno del hogar (C_I) está dado por la suma de todos los consumos calculados anteriormente, ver ecuación (7).
6. Dado que no se tiene información sobre el tamaño del jardín y el tipo de vegetación de la vivienda, se calculó el agua consumida en riego (C_r) como la resta del consumo interno del hogar (C_I) y el lavado del auto (C_a) al consumo total de la vivienda (C_T).

7.6 Factibilidad Técnica

Para ver si el proyecto es factible, los volúmenes de aguas grises que se generan en las duchas y lavamanos deben ser mayor al agua requerida para el llenado de inodoros y riego,

los cuales no requieren agua potable, como se indica en la ecuación (11). En caso de que los volúmenes de aguas grises generados sean mayores y dejen un volumen considerable que no se utilice, se podría analizar la posibilidad de reutilizarla en el riego del jardín.

Tabla 7.6-10: Volúmenes de Aguas Grises Reutilizables de la vivienda vs Consumo de Agua para Descarga de Inodoros

	Volumen (L/día)	Volumen (m3/mes)	% Porcentaje respecto al consumo de AP total mensual
Aguas Grises Reutilizables	216	6,48	46%
Agua No Potable	175	5,26	37,3%
Aguas No reutilizables	79	2,36	16,7%
Consumo hogar	470	14,1	100%

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la Tabla 7.6-10 anterior se utilizaron las siguientes ecuaciones para el volumen de aguas grises reutilizables generadas en el hogar al día, el de agua no potable (V_{ANP}) y el de aguas no reutilizables (V_{ANR}).

$$V_{AGR} = C_l + C_d + C_i \quad (10)$$

$$V_{ANP} = C_i + C_r \quad (11)$$

$$V_{ANR} = C_c + C_{lc} + C_{la} \quad (12)$$

$$V_{Anp} = C_i + C_r \quad (13)$$

$$V_{AGR} > V_{ANP} \quad (14)$$

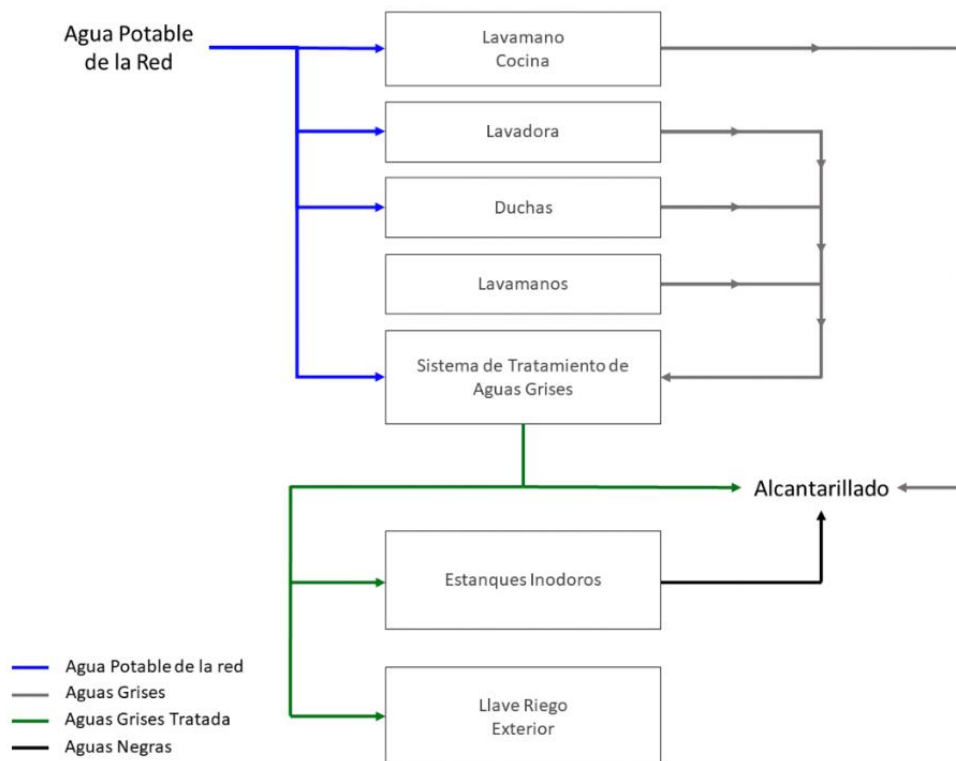
De los cálculos realizados anteriormente, el uso del inodoro y del riego (V_{ANP}) corresponde al 37,6% del total de agua potable consumida en la vivienda. Por otra parte, el volumen de aguas grises generadas por los lavamanos, duchas y lavadora (V_{AGR}) corresponden al 46% del total de agua utilizada en el hogar al mes. Dicho lo anterior, se cumple lo definido en la

ecuación (14) por tanto la implementación de un SRAG en la vivienda propuesta es factible, en el caso de que se recuperen en su totalidad las aguas grises generadas.

7.7 Sistema de Reutilización de Aguas Grises Propuesto

Como se comentó al inicio de este capítulo, el proyecto busca implementar un SRAG que pueda reutilizar las aguas procedentes de lavamanos, duchas y lavadora, las cuales serán recolectadas de forma independiente a las redes de agua potable y alcantarillado, siendo derivadas a una planta de tratamiento de aguas grises, en adelante PTAG, en donde recibirán el tratamiento adecuado para luego ser reutilizadas en el llenado de los estanques de los inodoros y una llave para riego exterior. El proceso del SRAG queda detallado en el diagrama de la Figura 7.7-12.

Figura 7.7-12: Diagrama del Proceso del SRAG del Proyecto



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la PTAG deberá contar con una conexión al alcantarillado, para evitar inundaciones en el caso de que los volúmenes de aguas grises sean mayores a la demanda de agua no potable, y con una conexión a la red de agua potable de la vivienda, en el caso de que no se generen los volúmenes para solventar la demanda de agua para los inodoros y/o riego, por lo que se deberá incorporar agua potable al sistema, lo que facilitará la limpieza de este y suplir la demanda de aguas grises.

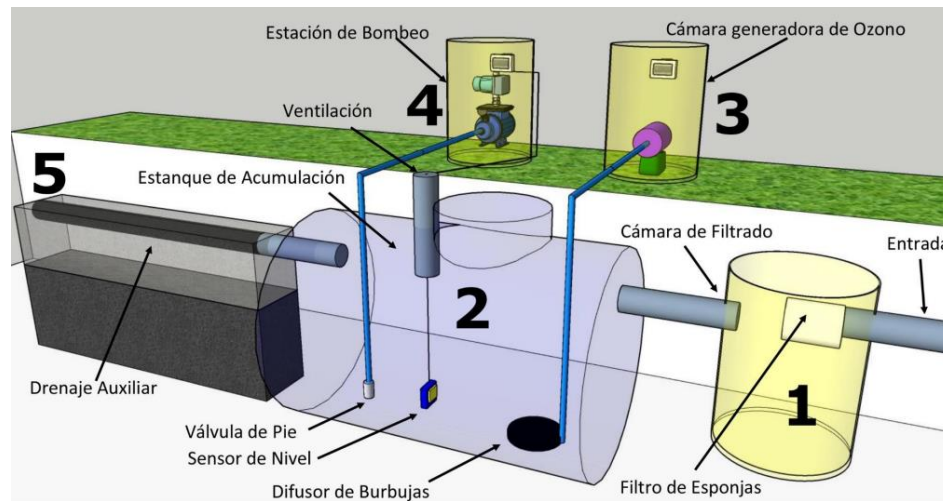
La captación de las aguas grises para el sistema propuesta será de forma gravitacional, para evitar un incremento en los costos asociados, al igual que la descarga hacia el alcantarillado.

En cuanto a lo dispuesto en el Reglamento (RE-404) no se especifica métodos específicos para el tratamiento de las aguas grises recolectadas, dejándolo a criterio de los profesionales competentes de acuerdo con el diseño, características de la vivienda y el uso final de las aguas.

Por otra parte, el tratamiento de las aguas grises escapa de las competencias de un ingeniero civil industrial, por lo tanto, para efectos de este estudio, el tratamiento de las aguas grises recolectadas será en base a la Planta de Tratamiento de Aguas Grises 1.350 L 0.5HP, producto ofrecido para el tratamiento de aguas grises de la empresa Aguasol (Anexo {2}).

En la Figura 7.7-13 se puede ver el proceso de la PTAG, en donde las aguas procedentes de los lavamanos, duchas y lavadora son dirigidas a la etapa de filtrado (Etapa 1), donde atraviesan un filtro removible de 4 de esponja y se incorporan a la cámara de filtrado, de 150 litros, esta cámara de filtra cumple como el estanque de homogeneización, ya que permite mezclar las aguas grises de las diferentes fuentes y permitir el ingreso al estanque acumulador de 1350 litros (Etapa 2) sin almacenar aguas grises sin tratamiento, donde comenzara su tratamiento por ozonización a través de la inyección de ozono a través de un difusor de burbujas generado por la cámara generadora de ozono (Etapa 3). Posteriormente el agua tratada será distribuida al hogar a través de una estación de bombeo (Etapa 4) hacia los estanques de inodoro y la llave de riego del jardín, además el estanque de acumulación contará con un drenaje auxiliar (Etapa 5) la cual será conectada a la red de alcantarillado del hogar.

Figura 7.7-13: Etapas y Componentes de la PRAG de la Empresa Aguasol



Fuente: Anexo {2}

La ozonización es un tratamiento químico utilizado para la desinfección del agua la que permite eliminar compuesto orgánicos e inorgánicos presentes en el agua. En este tratamiento de desinfección se incorpora ozono (O_3) al agua, el cual tiene un alto poder oxidante permitiendo desinfectar el agua mejor que la cloración y sin afectar su PH. (Gray, 2014). Además, el ozono también permite reducir la turbiedad, el contenido de los sólidos en suspensión, la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO), como también eliminar detergentes y otras sustancias no biodegradables (Bobadilla y Gonzales, 2006)

Para que la PRAG cumpla con lo estipulado en el proyecto de reglamento (RE-404), se debe incorporar una conexión de agua potable al estanque de almacenamiento en el caso de que los volúmenes de aguas grises generados no sean suficientes para el llenado de inodoros, permitiendo el llenado con agua potable. El llenado del estanque con agua potable deberá ser realizado sobre el nivel de rebase de este para evitar la contaminación del agua potable con las aguas grises, según lo entendido del artículo 19, inciso f de la RE-404.

7.8 Estimación de Costos

La estimación del costo para la implementación del SRAG propuesto, se realizará en diferentes etapas, en donde se considerarán los costos en el diseño del SRAG propuesto y la mano de obra para su instalación, los costos asociados a los materiales y equipos necesarios, y por ultimo los costos de funcionamiento y mantención del sistema.

7.8.1 Diseño y Construcción

El diseño de una red de tuberías de aguas grises deberá ser realizado por un profesional en el área. En este proyecto en particular se asumirá que el diseño del SRAG se realizó en la etapa de diseño de la vivienda, por consiguiente, este costo no será contemplado.

Por otra parte, la construcción e instalación del SRAG propuesto, será realizado por un albañil especializado en el tema, el cual tendrá un valor de \$ 460.000 pesos chilenos para la mano de obra. Este valor fue considerando que desde el 1 de septiembre de 2023 el sueldo mínimo de Chile deberá ser de \$ 460.000, según lo estipulado en el artículo 1 de la ley 21.578.

7.8.2 Materiales y Equipos

Debido a que no se posee un diseño de la red de tuberías, y de las diferentes conexiones del sistema propuesto, no es posible saber los materiales que serán requeridos y su cantidad, por lo que tampoco serán considerados, pero se puede tener una referencia de estos costos al revisar la investigación realizada por (Pedreros, 2021), en cuanto al diseño de isométricos para un SRAG, en donde se detallan los tipos y cantidad de los materiales.

Mientras que los equipos requeridos corresponden a la PRAG de la empresa Aguasol propuesta anteriormente, en donde se consideran: un estanque de filtrado con 4 filtros de esponja; un estanque de almacenamiento de 1350 L; una cámara generadora de ozono con

su respectivo difusor; una estación de bombeo que contempla una bomba de 0,5 HP, controlador automático y sensor de nivel para estanque. Lo que puede ser adquirido por un valor de \$1.443.760 pesos chilenos en el sitio web de la empresa Aguasol.

En cuanto a la vida útil de la PTAG, dependerá del cuidado que se tenga de los diferentes equipos. Si bien una bomba puede fallar rápidamente como también puede nunca fallar, se considerará para efectos de este estudio un cambio en el año 15, la que tendrá un valor de \$ 52.990, según el valor de la página web oficial de Falabella, revisar Anexo {4}.

En cuanto a la cámara generadora de ozono se consideró un remplazo en el año 15 del proyecto, se asumirá que este cambio se realizó debido a una falla que obligó a cambiar el equipo. Por lo tanto, según la oferta nacional, estos equipos tienen un precio que rondan entre los \$ 500.000 y \$ 900.000 pesos. Se utilizó el valor del precio del generador de ozono de la empresa Aguasol {5}, el cual tiene un precio de \$ 791.613 pesos.

7.8.3 Costos de Funcionamiento y Mantenimiento

Los costos asociados a al funcionamiento del proyecto contemplan el consumo eléctrico generado por la bomba y la cámara de generación de ozono, resumidos en la Tabla 7.8.3-11.

Tabla 7.8.3-11: Costo Mensual de Funcionamiento Bomba y Ozonizador

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo de Uso (h)	Consumo (\$/kWh)
Bomba Periférica de 0,5 HP	0,37	90	\$ 4.396
Ozonizador	0,1	210	\$ 2.772

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de los consumos de la tabla anterior se consideró un valor de \$ 132 pesos por kWh, valor correspondiente al promedio del precio BT1 del consumo domiciliario incluyendo IVA de todas las comunas del área concesionada y tramos tarifarios calculado por en mayo del 2023 por Enel Chile (Enel, 2023) , una potencia de 0,37 kW para la bomba

periférica de 0,5 hp, según la información de la bomba comercializada Vielco en su sitio web {3}, una potencia de 0,08 kW para el ozonizador, según el cañón de ozono comercializado por Biosfera Store {6} y un tiempo de uso de 90 horas al mes para la bomba, ya que como solo se utiliza para la recarga de inodoro y riego, su funcionamiento no debiese superar las 3 horas por día, y de 210 horas mensuales para el ozonizador. Por lo tanto, el gasto en consumo eléctrico es de \$ 7.168 pesos al mes, lo que al año se traduce en \$ 86.016 pesos.

Por su lado la mantención de los estanques y los filtros es prácticamente sin costo, ya que se recomienda limpiar cada cierto tiempo de forma manual, lo que requiere únicamente de agua potable para realizar la limpieza, además el cambio de filtro se deberá hacer cada cierto tiempo a criterio del usuario, es recomendado cambiar los filtros por lo menos 3 veces al año, por lo que el costo anual según los filtros de esponja en el mercado no debiese superar los \$ 20.000 pesos.

La cuenta de luz (\$ 86.016) y el cambio de filtros (\$ 20.000) corresponderán a gastos fijos del proyecto para cada periodo, lo que se traduce en un gasto anual de \$ 106.016 pesos.

Por otra parte, se deberá considerar una mantención para la bomba, la cual no debería superar los \$ 20.000 pesos en repuestos, en caso de ser necesario, para efectos de este estudio se asumirá que la mantención de la bomba será realizada una vez al año, pero solo se gastaran \$ 20.000 cada 5 años. De esta forma, en el periodo 5, 10, 15, 20 y 25 del proyecto, los costos asociados a la mantención y funcionamiento ascenderán a \$ 126.016 pesos.

7.9 Evaluación Económica del proyecto

Para ver si el proyecto propuesto podría ser beneficioso para las familias que deseen reutilizar las aguas grises, se desarrolló la siguiente evaluación económica, en donde se analizó el VAN y la TIR del proyecto de forma individual, debiendo dejar en claro la inversión inicial del proyecto (costos totales), sus gastos (costos de funcionamiento y mantención) y los ingresos del proyecto (ahorro de la cuenta total mensual del agua), con la

finalidad de ver si el proyecto es financiable en el corto o mediano plazo. Además, se presentarán 3 escenarios para el financiamiento del proyecto los cuales serán comparados y se realizarán las conclusiones pertinentes.

7.9.1 Inversión Inicial

La inversión inicial corresponde a los gastos totales del proyecto, en los cuales se consideran los costos en la instalación del SRAG, el costo de los materiales y de la PRAG. Por lo tanto, la inversión inicial del proyecto será de \$ 1.903.760, la que contempla el costo total por la adquisición de la PTAG de la empresa Aguasol (\$1.443.760) y la del pago al maestro constructor (\$460.000).

7.9.2 Gastos

Los gastos fijos del proyecto serán únicamente los que se asocian al mantenimiento y funcionamiento del sistema de reutilización de aguas grises, por lo que se consideró el gasto de electricidad para el uso de la bomba y la cámara de ozono, además, la mantención de los equipos, lo que se traduce en un gasto de \$ 106.016 pesos al año, a excepción de los periodos 5, 10, 15, 20 y 25, los cuales incorporan un costo extra en repuestos para la bomba, por lo que el gasto asciende a los \$ 126.016.

7.9.3 Ingresos

A diferencia de otros tipos de proyectos, esta investigación no cuenta con ingresos de forma directa, por lo que el ahorro generado en la cuenta del agua al implementar el SRAG propuesto corresponderá a los ingresos, el cual se calculó como la diferencia entre la cuenta de agua mensual sin el sistema de reutilización de aguas grises (\$ 37.120) y la cuenta con el

SRAG (23.777), resultando un ahorro de \$ 13.343 mensual o de \$ 160.116 anual, ósea los ingresos del proyecto.

Tabla 7.9.3-12: Valor Cuenta de Agua Con y Sin el SRAG Propuesto

Tipo de Cargo	Valor (m ³ /)\$	Volumen SIN SRAG (m ³ /mes)	Volumen CON SRAG
Fijo	\$ 1.352	\$ 1.352	\$ 1.352
Agua Potable	\$ 2.008,83	\$ 28.325	\$ 17.758
Alcantarillado	\$ 527,92	\$ 7.444	\$ 4.667
Valor cuenta De Agua Potable		\$ 37.120	\$ 23.777

Fuente: Elaboración propia en base a las tarifas de Aguas Antofagasta, 2023.

Se consideró que el valor de la cuenta de agua está dado por un cargo fijo mensual y por un cargo variable en el consumo de agua potable y uso de alcantarillado, como se muestra en la Tabla 7.9.3-12. No se consideró un descuento en la cuenta de agua en base al subsidio estipulado en la Ley 18.778 del Ministerio de Hacienda de Chile.

Para el valor de la cuenta SIN SRAG se consideró un consumo de 14,1 m³/mes y para la cuenta CON SRAG un consumo de 8,84 m³/mes. Este último corresponde al agua potable total del hogar menos el 37,6% que corresponde al llenado de estanques de inodoro y riego por las aguas grises recolectadas del proyecto.

Además, se consideró que el precio del agua será reajustado cada 5 años, por lo que su valor incrementará en un 3%, por lo tanto, ese incremento se verá reflejado en el total del ahorro.

7.9.4 Consideraciones y Escenarios

Dentro de las consideraciones para la evaluación económica, se consideró que el proyecto tendrá una duración de 25 años para efectos del estudio. En el periodo 15 se consideró un

cambio de la bomba y de la cámara generadora de ozono, y en cuanto a los estanques de almacenamiento y filtrado, estos no serán necesario cambiarlos en el transcurso del proyecto.

Por otra parte, los costos en mantenimiento y funcionamiento del proyecto son fijos, lo que implica que el gasto será igual en los periodos de tiempo que contempla el proyecto, a excepción de los periodos mencionados en la sección de Gastos de este Capítulo. Los ingresos del proyecto, los cuales corresponden al ahorro en la cuenta de agua, variarán en precio, ya que se considerará un reajuste en el precio del agua cada 5 años, en donde se incrementará en un 3% el valor de la cuenta de agua

Para el cálculo del VAN se consideró una tasa de descuento del 6%, la cual corresponde a la tasa social de descuento (TSD) definida por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia en el informe de Precios Sociales del año 2023.

Se propusieron 4 escenarios para la evaluación económica del proyecto:

Escenario 1 (Esc.1): Corresponde al proyecto sin alteraciones en cuanto a los gastos, ingresos e inversión definidos en esta sección.

Escenario 2 (Esc.2): Mantienen los mismos gastos del proyecto y los mismos ingresos, pero el monto de la inversión varía, ya que se considera un aporte económico del estado del 50% para la obtención de la PTAG propuesta.

Escenario 3 (Esc.3): al igual que el **Esc.1** y **Esc.2** en cuanto a los ingresos y gastos del proyecto, pero su inversión inicial solo corresponde al gasto en la instalación, ya que se asume que el costo de la PTAG subsidiado de forma completa por el Estado.

Escenario 4 (Esc.4): Este escenario tiene las mismas características que el **Esc.1**, la única diferencia corresponde a que los volúmenes de agua potable consumidos al mes son mayores, ósea el consumo mensual en agua potable es de 20 m³/mes, lo que se traduce en un mayor ahorro en la cuenta de agua de \$ 18.927 pesos al mes y de \$ 227.120 pesos al año al implementar el SRAG propuesto.

Escenario 5 (Esc. 5): En este escenario en particular, no se consideró un remplazo de los equipos (bomba periférica y cámara generadora de ozono). Además, se consideró un aporte del 50% para adquirir la

7.9.5 Resultados Evaluación Económica

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, los montos de los ingresos, los gastos y de la inversión se realizó un flujo de caja para cada uno de los escenarios, en donde se detalló los ingresos y egresos del proyecto para cada periodo.

En la Tabla 7.9.5-13 se puede apreciar el flujo de caja para el **Esc.1** y el **Esc. 2**. Para ambos escenarios la inversión inicial del proyecto no es recuperada en los 25 años de duración de este, además los valores calculados para la TIR son negativos al igual que el VAN por lo tanto no es atractivo desde el punto de vista económico el proyecto.

Tabla 7.9.5-13: Flujo de Caja para Esc. 1 y Esc. 2

Flujo de Caja Escenario 1						Flujo de Caja Escenario 2					
Periodo	Ingresos	Gasto	Inversión	Flujo	Acumulado	Periodo	Ingresos	Gasto	Inversión	Flujo	Acumulado
0			\$ -1.903.760	\$ -1.903.760	\$ -1.903.760	0			\$ -1.181.880	\$ -1.181.880	\$ -1.181.880
1	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -1.849.656	1	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -1.127.776
2	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -1.795.553	2	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -1.073.673
3	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -1.741.449	3	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -1.019.569
4	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -1.687.345	4	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -965.465
5	\$ 164.923	\$ -126.016	\$ -	\$ 38.907	\$ -1.648.438	5	\$ 164.923	\$ -126.016	\$ -	\$ 38.907	\$ -926.558
6	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -1.589.531	6	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -867.651
7	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -1.530.624	7	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -808.744
8	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -1.471.716	8	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -749.836
9	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -1.412.809	9	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -690.929
10	\$ 169.871	\$ -126.016	\$ -	\$ 43.855	\$ -1.368.954	10	\$ 169.871	\$ -126.016	\$ -	\$ 43.855	\$ -647.074
11	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -1.305.099	11	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -583.219
12	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -1.241.244	12	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -519.364
13	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -1.177.389	13	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -455.509
14	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -1.113.534	14	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ -391.654
15	\$ 174.967	\$ -990.619	\$ -	\$ -815.652	\$ -1.929.186	15	\$ 174.967	\$ -990.619	\$ -	\$ -815.652	\$ -1.207.306
16	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -1.860.235	16	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -1.138.355
17	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -1.791.284	17	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -1.069.404
18	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -1.722.333	18	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -1.000.453
19	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -1.653.382	19	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -931.502
20	\$ 180.216	\$ -126.016	\$ -	\$ 54.200	\$ -1.599.182	20	\$ 180.216	\$ -126.016	\$ -	\$ 54.200	\$ -877.302
21	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -1.524.982	21	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -803.102
22	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -1.450.782	22	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -728.902
23	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -1.376.582	23	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -654.702
24	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -1.302.382	24	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -580.502
25	\$ 185.623	\$ -126.016	\$ -	\$ 59.607	\$ -1.242.775	25	\$ 185.623	\$ -126.016	\$ -	\$ 59.607	\$ -520.895

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, al realizar los flujos de caja para los **Esc.3** y **Esc.4**, notamos que la inversión se logra recuperar dentro de los 25 años del proyecto. Al solo pagar la instalación de los equipos como la inversión inicial de \$ 460.000 en el **Esc. 3**, la inversión se logra recuperar en el periodo 23 del proyecto, pese a esto el cálculo de la TIR arrojó un valor positivo pero menor a la tasa de descuento definida, y el VAN sigue siendo un valor negativo, por lo que sigue siendo poco atractivo desde el punto de vista económico.

Mientras que en el **Esc. 4**, al incrementarse el consumo de agua del hogar a 20 m³/mes y considerando la inversión inicial de \$ 1.903.760 se logra recuperar en el año 22 del proyecto, pero pese a esto se obtuvo una TIR y un VAN menores al del **Esc. 3** por lo que sigue siendo poco atractivo desde el punto de vista económico.

Tabla 7.9.5-14: Flujo de Caja para Esc. 2

Flujo de Caja Escenario 3						Flujo de Caja Escenario 4					
Periodo	Ingresos	Gasto	Inversión	Flujo	Acumulado	Periodo	Ingresos	Gasto	Inversión	Flujo	Acumulado
0			\$ -460.000	\$ -460.000	\$ -460.000	0			\$ -1.903.760	\$ -1.903.760	\$ -1.903.760
1	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -405.896	1	\$ 227.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 121.104	\$ -1.782.656
2	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -351.793	2	\$ 227.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 121.104	\$ -1.661.552
3	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -297.689	3	\$ 227.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 121.104	\$ -1.540.448
4	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -243.585	4	\$ 227.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 121.104	\$ -1.419.344
5	\$ 164.923	\$ -126.016	\$ -	\$ 38.907	\$ -204.678	5	\$ 233.934	\$ -126.016	\$ -	\$ 107.918	\$ -1.311.426
6	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -145.771	6	\$ 233.934	\$ -106.016	\$ -	\$ 127.918	\$ -1.183.508
7	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -86.864	7	\$ 233.934	\$ -106.016	\$ -	\$ 127.918	\$ -1.055.591
8	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -27.956	8	\$ 233.934	\$ -106.016	\$ -	\$ 127.918	\$ -927.673
9	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ 30.951	9	\$ 233.934	\$ -106.016	\$ -	\$ 127.918	\$ -799.755
10	\$ 169.871	\$ -126.016	\$ -	\$ 43.855	\$ 74.806	10	\$ 240.952	\$ -126.016	\$ -	\$ 114.936	\$ -684.820
11	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 138.661	11	\$ 240.952	\$ -106.016	\$ -	\$ 134.936	\$ -549.884
12	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 202.516	12	\$ 240.952	\$ -106.016	\$ -	\$ 134.936	\$ -414.948
13	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 266.371	13	\$ 240.952	\$ -106.016	\$ -	\$ 134.936	\$ -280.012
14	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 330.226	14	\$ 240.952	\$ -106.016	\$ -	\$ 134.936	\$ -145.077
15	\$ 174.967	\$ -990.619	\$ -	\$ -815.652	\$ -485.426	15	\$ 248.180	\$ -990.619	\$ -	\$ -742.439	\$ -887.515
16	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -416.475	16	\$ 248.180	\$ -106.016	\$ -	\$ 142.164	\$ -745.351
17	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -347.524	17	\$ 248.180	\$ -106.016	\$ -	\$ 142.164	\$ -603.187
18	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -278.573	18	\$ 248.180	\$ -106.016	\$ -	\$ 142.164	\$ -461.023
19	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ -209.622	19	\$ 248.180	\$ -106.016	\$ -	\$ 142.164	\$ -318.858
20	\$ 180.216	\$ -126.016	\$ -	\$ 54.200	\$ -155.422	20	\$ 255.626	\$ -126.016	\$ -	\$ 129.610	\$ -189.249
21	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -81.222	21	\$ 255.626	\$ -106.016	\$ -	\$ 149.610	\$ -39.639
22	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ -7.022	22	\$ 255.626	\$ -106.016	\$ -	\$ 149.610	\$ 109.970
23	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ 67.178	23	\$ 255.626	\$ -106.016	\$ -	\$ 149.610	\$ 259.580
24	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ 141.378	24	\$ 255.626	\$ -106.016	\$ -	\$ 149.610	\$ 409.190
25	\$ 185.623	\$ -126.016	\$ -	\$ 59.607	\$ 200.985	25	\$ 263.294	\$ -126.016	\$ -	\$ 137.278	\$ 546.468

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para el ultimo escenario (**Esc.5**), al considerar solo una inversión de instalación de \$ 460.000 y no considerar cambios de la bomba y la cámara generadora de ozono, la inversión del proyecto se logra recuperar antes que los escenarios propuestos anteriormente, lográndose en el periodo 9 del proyecto, además el valor del VAN es positivo y la TIR es

mayor a la tasa de descuento propuesta, por lo que se concluyo que es rentable económicamente el proyecto si se cumplen estas condiciones del **Esc.5**.

Tabla 7.9.5-15: Flujo de Caja para Esc. 3

Flujo de Caja Escenario 5					
Periodo	Ingresos	Gasto	Inversión	Flujo	Acumulado
0			\$ -460.000	\$ -460.000	\$ -460.000
1	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -405.896
2	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -351.793
3	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -297.689
4	\$ 160.120	\$ -106.016	\$ -	\$ 54.104	\$ -243.585
5	\$ 164.923	\$ -126.016	\$ -	\$ 38.907	\$ -204.678
6	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -145.771
7	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -86.864
8	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ -27.956
9	\$ 164.923	\$ -106.016	\$ -	\$ 58.907	\$ 30.951
10	\$ 169.871	\$ -126.016	\$ -	\$ 43.855	\$ 74.806
11	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 138.661
12	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 202.516
13	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 266.371
14	\$ 169.871	\$ -106.016	\$ -	\$ 63.855	\$ 330.226
15	\$ 174.967	\$ -126.016	\$ -	\$ 48.951	\$ 379.177
16	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ 448.128
17	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ 517.079
18	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ 586.030
19	\$ 174.967	\$ -106.016	\$ -	\$ 68.951	\$ 654.981
20	\$ 180.216	\$ -126.016	\$ -	\$ 54.200	\$ 709.181
21	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ 783.381
22	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ 857.581
23	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ 931.781
24	\$ 180.216	\$ -106.016	\$ -	\$ 74.200	\$ 1.005.981
25	\$ 185.623	\$ -126.016	\$ -	\$ 59.607	\$ 1.065.588

Fuente: Elaboración propia

De los escenarios propuestos, solo el **Esc. 3**, **Esc. 4** y el **Esc. 5** logran recuperar la inversión inicial dentro del tiempo de duración del proyecto, mientras que los **Esc. 1** y **2** no lo consiguen.

Según los criterios del VAN y de la TIR solo el Esc.5 es atractivo desde el punto de vista económico, ya que la tasa interna de retorno fue de 11,5% mayor a la tasa de descuento social (TDS) fijada en 6% para efectos de este estudio, además el calculo del VAN para este escenario fue de \$ 288.196, por lo que se concluye que el proyecto genera el retorno esperado. Los valores del VAN y de la TIR para cada escenario propuesta quedan resumidos en la Tabla 7.9.5-16.

Tabla 7.9.5-16: VAN y TIR Para los Esc.1, 2, 3, 4 y 5

	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 5
TSD	6%	6%	6%	6%	6%
TIR	-6,5%	-4,0%	3,6%	2,1%	11,5%
VAN	\$-1.516.332	\$ -794.452	\$ -72.572	\$ -617.193	\$ 288.196

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IX: Conclusiones

De los resultados obtenidos en esta investigación para el SRAG propuesto para una vivienda unifamiliar con las características descritas en la comuna de Antofagasta, se concluye que es una buena alternativa para adaptarse a los escenarios de escases hídrica de la zona, ya que se lograría disminuir en un 37,6% el consumo del agua en el hogar, al reutilizar el agua de los lavamanos, duchas y lavadora de ropa para el llenado de los estanques de inodoro y riego del jardín. Además, en caso de poder reutilizar en totalidad las aguas grises generadas del hogar, se podría reducir en hasta un 46% las aguas residuales del domicilio, lo que se traduce en menores volúmenes de aguas servidas que deban ser tratadas en las plantas de tratamiento.

De la encuesta realizada se concluyó que la reutilización de aguas grises es un tema que despertó el interés de los encuestados, ya que la mayoría se mostró dispuesto a implementar un SRAG en su vivienda, pero el precio era una de las limitantes, ya que la mayoría invertiría menos de 500 mil pesos en el sistema, y la segunda mayoría invertiría entre los 500 mil y 1 millón de pesos. Por otra parte, las personas encuestadas en su mayoría aseguran que el Estado debe tomar iniciativas para fomentar la reutilización de aguas grises, como contemplar mayores proyectos públicos que cuenten con la infraestructura hídrica para poder reutilizar aguas grises, la educación de los niños en torno al tema, y la implementación de subsidios a quienes deseen implementar un SRAG en su vivienda.

Pese a que los SRAG logran reducir el consumo de agua potable en el hogar, la implementación de un SRAG cuando los volúmenes de agua son bajos como en el caso de estudio ($14,1 \text{ m}^3/\text{mes}$) la inversión es poco atractiva desde el punto de vista económico, ya que la inversión inicial del SRAG es alta y que al considerar solo el ahorro de la cuenta del agua como ingresos del proyecto no es suficiente para recuperar la inversión dentro de la duración del proyecto. Pese a esto se analizó que ocurriría al bajar la inversión inicial al subsidiar de forma parcial (**Esc. 2**) o completa (**Esc. 3**) la PTAG. Concluyéndose que solo al subsidiar de forma completa la PTAG se lograría recuperar la inversión del proyecto.

Al aumentar los volúmenes de agua, estos sistemas son más rentables (**Esc. 4**) ya que el ahorro en la cuenta del agua es mayor, y por consiguiente se recupera la inversión mas

rápido, pero aun así sino existe un incentivo para instalar estos sistemas de reutilización de aguas grises, ya que según el criterio del VAN y de la TIR estos escenarios propuestos no son atractivos desde el punto de vista económico.

Por lo tanto, en base a los resultados y según las respuestas recolectadas por la encuesta realizada en esta investigación, la reutilización de aguas grises a nivel doméstico son una buena forma de cuidar este recurso y reducir su consumo, pero faltan incentivos para implementar SRAG domésticos. Por lo que se propone una mayor actividad de difusión de estos sistemas, mayores proyectos públicos que contemplen la reutilización de aguas grises y subsidios totales o parciales para los que deseen implementarlos.

También se propone realizar una evaluación económica a un conjunto de viviendas que generen volúmenes bajos de agua, con la finalidad de analizar si la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises permita generar un ahorro mayor, al poder reutilizar las aguas grises generadas en su totalidad, ya sea para el riego de áreas verdes comunes, limpieza de instalaciones, entre otras.

Bibliografía

1. **Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas (Aqua España). (2016).** Guía técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios.
2. **Bobadilla, E. & Gonzales, L. (2006).** Aplicación del Ozono para la Reducción de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en el Efluente de la Empresa Agroindustrial Casa Grande S.A.A.
3. **Decreto Supremo Número 19 (DS19) (2016).** REGLAMENTA PROGRAMA DE INTEGRACIÓN SOCIAL Y TERRITORIAL, Y MODIFICA DS N°1, (V. Y U.).
4. **Dirección General de Aguas (DGA). (2016).** Atlas del Agua de Chile 2016. (<https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>)
5. **DGA (2017).** Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile.
6. **ENEL (2023).** Consumo Artefactos Eléctricos en el Hogar. Recuperado de <https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/consumo-artefactos-electricos.html>
7. **Fernández, C. (2004).** Agua y Desarrollo Humano. Ars Medica. Revista de Humanidades 2004; 1:12-30.
8. **Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013).** Afrontar la Escasez de Agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria.

9. **(FAO). (2020).** The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Rome. Recuperado de <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
10. **FAO (2021).** Metodología AQUASTAT, Uso del Agua. Recuperado de <https://www.fao.org/aquastat/es/overview/methodology/water-use/>
11. **Fundación Amulén (2019).** Sequía: La brecha Más Profunda.
12. **Gray, N. F. (2014).** Ozone Disinfection. *Microbiology of Waterborne Diseases: Microbiological Aspects and Risks: Second Edition*, 599–615.
13. **Ley N° 21.075,** Diario Oficial N° 42.096, de 29 de diciembre de 2017.
14. **Maimon et al., (2010).** Safe on-Site Reuse of Greywater for Irrigation - A Critical Review of Current Guidelines.
15. **Marcos, R. (2014)** Valor Actual Neto y Tasa de Retorno: Su Utilidad Como Herramienta Para el análisis y evaluación de Proyectos de Inversión. Instituto de Investigación en Ciencias Económicas y Financieras Universidad La Salle – Bolivia.
16. **Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2023).** Informe Precios Sociales 2023.
17. **MINVU. (2018).** Estándares de Construcción Sustentables para Viviendas de Chile.
18. **Murcia-Sarmiento M. L., Calderón-Montoya O. G., Díaz-Ortiz J. E. (2014).** Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo, *Tecno Lógicas*, vol. 17, no. 32, pp. 57-65, 2014.
19. **O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K. et al. (2014).** A New Scenario Framework for Climate Change Research: The Concept of Shared Socioeconomic

- Pathways. *Climatic Change* **122**, 387–400 (2014). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- 20. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019).** Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. Nairobi. DOI 10.1017/9781108627146.
- 21. ONU (2018).** Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development.
- 22. Pacific Institute (2010).** Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management.
- 23. Pallarés Bosque, C. (2016).** Diseño y dimensionamiento de la línea de agua de una PTAR procedente de un matadero porcino. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/84137183.pdf>
- 24. Pascal, J. (2007).** Los Criterios Valor Actual Neto Y Tasa Interna de Rendimiento. E-Publica - Revista Electrónica Sobre La Enseñanza de La Economía Pública, no. 1995:1–11.
https://www.academia.edu/24835325/Los_criterios_valor_actual_neto_y_tasa_interna_de_rendimiento.
- 25. Pinto U. & Maheshwari B. L. (2010).** Reuse of Greywater for Irrigation Around Homes in Australia: Understanding Community Views, Issues and Practices.
- 26. Schulte, P. (2014).** Defining Water Scarcity, Water Stress, and Water Risk: It's Not Just Semantics. Pacific Institute.

27. **Stec, A., & Kordana, S. (2015).** Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 84–94

28. **Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2023).** Detalle boletín consumos junio 2023.

29. **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2020).** Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático, París, UNESCO.

30. **World Resources Institute (WRI). (2019).** Ranking the world's most water-stressed countries in 2040.

31. **WRI (2019).** 17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress.

Anexos

{1} “*Encuesta: Sistemas de Reutilización de Aguas Grises Domiciliarias en Chile*”.

Introducción

La escasez de agua, el cambio climático y el incremento en la demanda por este recurso están poniendo en riesgo la disponibilidad futura del suministro de agua potable en el mundo y en Chile, sobre todo en las zonas más áridas del país, por lo que urge adoptar medidas para mitigar los impactos y adaptarse a estos escenarios. Una de ellas es la implementación de sistemas de reutilización de **AGUAS GRISES DOMICILIARIAS**, definidas como las aguas residuales producto del uso de lavamanos, duchas, fregaderos y lavadoras, destinadas para la recarga de cisternas de inodoros y riego, pudiendo disminuir hasta en un 40% el consumo de agua potable en el hogar.

La encuesta a continuación contempla 18 preguntas que serán utilizadas en la redacción de una memoria de título de pregrado de la Universidad de Concepción, para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, las respuestas son anónimas y servirán para comprender el conocimiento de la población chilena en cuanto a estos sistemas, sus intereses por querer implementarlos, y cuáles políticas creen que servirán para fomentar la reutilización de aguas grises domiciliarias en Chile.

Cuestionario Encuesta

1. ¿En qué grupo de edad se encuentra?

- Menos de 25
- 25 - 40
- 40 - 55
- 55 - 70
- Más de 70

2. ¿En qué región del país vive?

- Arica y Parinacota
- Tarapacá
- Antofagasta
- Calama
- Coquimbo
- Valparaíso
- Metropolitana
- O'Higgins
- Maule
- Ñuble
- Bío Bío
- Araucanía
- Los Ríos
- Los Lagos
- Aysén
- Magallanes y Antártica Chilena

3. ¿En qué tipo de vivienda vive?

- Departamento
- Casa Particular
- Condominio de casas particulares
- Otra...

4. ¿Cuántas personas viven usualmente en su hogar?

- 1
- 2
- 3
- 4
- Más de 4

5. ¿En qué grupo se encuentra el nivel de ingresos de su hogar?

- Menor a \$450.000
- \$450.000 – \$1.000.000
- \$1.000.000 - \$2.000.000
- \$2.000.000 - \$3.000.000
- Mayor a \$3.000.000

6. ¿Cuál o cuáles de los siguientes parámetros considera más importante respecto al agua? (Puede escoger más de una opción)

- Calidad
- Cantidad
- Precio
- Disponibilidad sin restricciones
- Otra...

7. ¿La actual escasez de agua en diferentes comunas de Chile, principalmente en la zona Norte y Centro del país, le preocupan?

- Soy consciente del problema y me afecta
- Soy consciente del problema, pero no me afecta
- No me preocupa
- No lo sé

8. ¿La comuna en donde vive se encuentra en estrés hídrico?

- Sí
- No
- No lo sé

9. ¿Toma medidas en su hogar para reducir el consumo de agua? (Por ejemplo, duchas cortas, no dejar correr el agua al lavar los dientes, aireadores de duchas y/o lavamanos, inodoros doble descarga, sistemas de captación de aguas lluvia, entre otros.)

- Sí
- No

10. De las siguientes iniciativas, señale la o las que encuentre mejor para el cuidado del agua. (Puede marcar más de una opción)

- Usar menos agua
- Almacenar aguas lluvias
- Reutilizar aguas grises
- Incrementar el precio del agua
- Horarios de prohibición para riego

11. ¿Ha oído hablar de los sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios?

- Sí
- No

12. La AGUAS GRISES DÓMESTICAS son aquellas aguas residuales generadas en duchas, lavamanos, lavadoras y lavavajillas, que pueden ser reutilizadas para el llenado de inodoros, riego de jardines y/o espacios verdes comunes. ¿Qué beneficios cree usted que tiene la reutilización de aguas grises? (Puede escoger más de una opción)

- Reducir el consumo de agua potable
- Ayudar a la sostenibilidad de los suministros de agua
- Menor impacto ambiental en general
- No lo sé
- Otra...

13. Si le dijeran que un sistema de reutilización de aguas grises podría reducir su consumo de agua hasta en un 40%, ¿estaría dispuesto usted a instalar uno en su hogar?

- Sí
- Sí, pero depende del costo de este
- No, prefiero otros métodos para reducir el consumo de agua en casa
- No, encuentro que las aguas grises pueden ocasionar problemas a la salud

14. Si su respuesta anterior fue sí. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la instalación de un sistema de reutilización de aguas grises en su hogar? (Asuma que el pago puede ser realizado en 12 cuotas mensuales sin interés)

- Menos de \$500.000
- Entre \$500.000 y \$1.000.000
- Entre \$1.000.000 y \$1.500.000
- Entre \$1.500.000 y \$2.000.000

- Más de \$2.000.000

15. En el caso de que usted quisiera adquirir/arrendar/mudarse a una nueva propiedad, y esta contara con un sistema de reutilización de aguas grises, ¿lo consideraría como un valor adicional?

- Sí
- No

16. Actualmente en Chile existen pocos proyectos que contemplan sistemas de reutilización de aguas grises, aunque cada vez hay más iniciativas, gran parte de la población desconocen de estos o sabe poco sobre el tema, ¿crees que el Estado debería incentivar la instalación de estos sistemas, para reducir el consumo de agua?

- Sí
- No

17. Si tu respuesta anterior fue sí, de las siguientes acciones escoja la o las que le parezcan mejores para incentivar la instalación de estos sistemas en los hogares.

- Subsidios parciales o completo según nivel socioeconómico
- Subsidios completos, para personas que viven en zonas de escasez de agua
- Difusión de las ventajas y el ahorro que conlleva un sistema de reutilización de aguas grises
- Proyectos públicos que contemplen la reutilización de aguas grises
- Educar a los niños de enseñanza básica, en escuelas, liceos y colegios sobre la reutilización de aguas grises domiciliarias
- Otra...

18. Si la actual crisis del agua continúa, ¿cree usted que la gente debería reutilizar más aguas grises en el futuro?

- Sí
- No

{2} *Planta Tratamiento Aguas Grises 1350 L 0,5 HP, Empresa Aguasol.*

Recuperada de: <https://aguasol.cl/servicio/planta-de-tratamiento-de-aguas-grises-1-350l-05hp/>

{3} *Bomba superficie periférica 0,5HP, Vielco.*

Recuperada de: https://vielco.com/producto/bombasup-qb60b0-5hpperiferica-bercatti/?gclid=CjwKCAjw2K6lBhBXEiwA5RjtCSnBgZidtqgT10woWPQDXNuLbb15am_pZo-MfQKI5ipaTSGhCwzN8BoCkgkQAvD_BwE

{4} *Electrobomba periférica 0,5 HP 32 l/min, Falabella.*

Recuperada de: https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110268304/Electrobomba-periferica-0,5-HP-32-1-min/110268328?kid=shopp196fc&disp=1&gclid=CjwKCAjwtuOIBhBREiwA7agf1mZThEQJcnwayBMJQyDMBhpJobOwieYzoRubjBZAB27S5Z2oRWdjXoC9LMQAvD_BwE

{5} *Unidad Generadora De Ozono Para Aire O Planta De Tratamiento*

Recuperada de: https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-1372622903-unidad-generadora-de-ozono-para-aire-o-planta-de-tratamiento-JM#position=33&search_layout=stack&type=item&tracking_id=96ee6654-78e0-439e-ab09-ae34768db54c

{6} *Generador De Ozono Profesional 10.000mg/h, Biosfera Store.*

Recuperada de: <https://www.biosferastore.cl/generador-de-ozono-profesional-bs03-10g-digital-10000mgh>

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERIA

RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO

Departamento	: Departamento de Ingeniería Civil Industrial
Carrera	: Ingeniería Civil Industrial
Nombre del memorista	: Augusto José Bellolio Victoriano
Título de la memoria	: Análisis del Potencial de Reutilización de Aguas Grises Domesticas en Zonas Urbanas de Chile Como una Alternativa de Adaptación Frente a los Escenarios de Estrés Hídrico Nacional
Fecha presentación oral	: 24 de agosto del 2023
Profesor(es) Guía	: María Magdalena Jensen Castillo
Profesor(es) Revisor(es)	: Jorge Jiménez
Concepto	:
Calificación	:

Resumen

La investigación realizada consta de la revisión de diferentes fuentes bibliográficas, para enfatizar en los problemas que existen entorno al agua a nivel mundial y nacional, y cómo a raíz de lo anterior urge tomar medidas para adaptarnos a ellos. Una de ellas corresponde a la reutilización de aguas grises, para efectos de este estudio se analizó el potencial de reutilización de las aguas grises para una vivienda unifamiliar situada en la comuna de Antofagasta, donde se estimaron los consumos de agua potables y el volumen de aguas grises generados, para posteriormente realizar una evaluación económica de un proyecto que contemple un sistema para reutilizar las aguas grises. Lo que permitirá determinar si el proyecto es atractivo desde el punto de vista económico y/o una buena alternativa para hacer frente a los escenarios de escasez de agua en el país.

