



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

**REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES COMO SOLUCIÓN
COMPLEMENTARIA EN ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE
LIMARÍ, IV REGIÓN DE COQUIMBO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

IGNACIO ROBERTO PIZARRO MADRID

PROFESOR GUÍA:

ADOLFO OCHOA LLANGATO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MANUEL CORTÉS VARGAS

GERARDO AHUMADA THEODULOZ

SANTIAGO DE CHILE

2023

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil mención Estructuras,
Construcción y Geotecnia
POR: Ignacio Roberto Pizarro Madrid
FECHA: 2023
PROFESOR GUÍA: Adolfo Ochoa Llangato

REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES COMO SOLUCIÓN COMPLEMENTARIA EN ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE LIMARÍ, IV REGIÓN DE COQUIMBO

La provincia del Limarí, ubicada en la IV región de Coquimbo, Chile, actualmente está afectada por la sequía, el régimen de precipitaciones es bajo en comparación a años anteriores, hay un déficit de los caudales y los embalses almacenan un porcentaje ínfimo en comparación a su capacidad total previo a las lluvias del 2017.

Bajo este contexto, el siguiente trabajo de título busca proponer un sistema de reutilización de aguas grises, a nivel de ingeniería conceptual, en comunidades rurales de la región de Coquimbo, para darle un posible uso a este recurso que actualmente no está siendo utilizado. Además, se busca presentar normativa nacional e internacional con respecto a la caracterización de aguas grises y su tratamiento.

Este trabajo también incluye una encuesta de hábitos de consumo hídrico distribuida de forma online y presencial en la provincia de Limarí, la cual ayudó a evaluar de forma cualitativa que tanto conoce la gente de aguas grises y que posibles usos le darían mediante su reutilización.

Finalmente, se propone un sistema de reutilización de aguas grises provenientes de la lavadora y que se utilizaría en el riego de jardines. Se incluye un detalle general de cómo ensamblar dicho sistema, el monitoreo que los reglamentos nacionales exigen para un sistema de sus características, el costo de cada una de sus partes y dónde comprarlas, y el costo total del sistema.

Dedicatoria

“A mis tatas y a la Emi.”

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi familia, mi mamá “la verito” y mi papá “el wata”, buena parte de quien soy es gracias a ellos. A mi lela “la vieja chica” por alimentarme y criarme hasta el día de hoy, mi tata “el viejo vero” por acompañarme y transportarme hasta donde le alcanzó la vida. Mi lela lili por todo el cariño que me entregó y mi tata José “el lelo” por enseñarme a disfrutar lo que es el estudio y la curiosidad.

Mi gran séquito de hermanos podría tener su propio anexo, así que los mencionó por lote y un comentario para cada uno. Grupo Catalán gracias por los buenos ejemplos (la mayoría del tiempo) en cuanto a lo que es soñar, pero además trabajar por dichos sueños (aun no tengo ningún sueño, pero cuando tenga, trabajaré). Grupo Pizarro, gracias por completar una parte de mí que sentía ajena. Mención honrosa a mis hermanas mayores Daniela C. y Maca P. por constantemente preguntar por mi trabajo de título. Gracias a Álvaro por ser el mayor ejemplo de positividad que tengo hasta hoy en día y a Daniel por siempre darme buenos consejos o guías (a pesar de que no sea su intención).

Agradezco a los cabros de la pocilga Topo y Martini por las constantes risas, deporte, suciedad, conversaciones, soris, birras, vinos, cervezas, carretes, viajes a viña-valpo, terapias de shock, novelas del mega, y un largo etcétera. Espero que nos sigamos juntando y riendo.

Mis amigos de la U también merecen un anexo gigante, pero me limitaré al orden cronológico, primero la pandilla ladilla (zarrituerca, gasparzilla, mati pelao y cristobal), el grupo de los pelucones (mati ramirez, max “queso” guardiola, sven) y finalmente los civiles conformados por el gran pipe fari, pacheco, pinola, watom, jona perona y un tal juan rojas. Mención honrosa a Maquinita, el gran amigo que me dejó la U, espero poder volver a verte donde sea que estés. Gracias a todos ustedes cabros por presionarme a sacar este trabajo, acompañarme con algún fortnite, cerveza o en alguna queja.

Finalmente agradecer al profesor Adolfo por tenderme una mano en un período bastante malo de mi vida, a la profesora Yolanda por la infinita paciencia y apoyo hacia mi persona, y al profesor Gerardo por la ayuda en cuanto a información para este trabajo. Agradecer también al ingeniero Manuel por llegar a poner orden en mi vida académica.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.2 ALCANCES	2
2. METODOLOGÍA	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 SEQUÍA.....	4
3.1.1 SEQUÍA NIVEL PAÍS.....	4
3.1.2 SEQUÍA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO.....	9
3.2 AGUAS GRISES.....	10
3.2.1 DEFINICIONES.....	10
3.2.2 USOS PERMITIDOS.....	11
3.2.3 USOS QUE SE PROHIBEN.....	11
3.3 CONDICIONES BÁSICAS PARA LA REUTILIZACIÓN.....	12
3.4 CALIDAD DE AGUAS GRISES PARA DISTINTOS USOS.....	15
3.5 ZONAS RURALES.....	16
3.6 SISTEMAS/OBRAS DE TRATAMIENTO	18
3.6.1 APR	20
3.7 TECNOLOGÍA PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO	21
3.7.1 TRATAMIENTO PRIMARIO.....	21
3.7.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO	22
3.7.3 TRATAMIENTO TERCIARIO.....	23
3.8 GUÍAS INTERNACIONALES.....	24

3.8.1	Organización Mundial de la Salud	24
3.8.2	Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos.....	26
3.8.3	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura	27
4.	CASO DE REUTILIZACIÓN EN LA REGIÓN: ESTUDIO ESCUELAS Y HOGARES (REGIÓN DE COQUIMBO)	28
5.	SISTEMAS RECOMENDADOS POR EL MINVU	31
5.1	PARA REUTILIZACIÓN EN CISTERNAS DE INODOROS	32
5.2	SISTEMA FILTRO JARDINERA	34
5.3	SISTEMA FILTRO DE ACOLCHADO.....	34
6.	ENCUESTA A LAS LOCALIDADES	35
6.1	RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	40
6.1.1	PERFIL DE LOS ENCUESTADOS	40
6.1.2	HÁBITOS DE CONSUMO	44
6.1.3	CONOCIMIENTO DE AGUAS GRISES	47
6.2	RESUMEN DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA	49
7.	SISTEMA DE REUTILIZACIÓN LAVADORA-JARDÍN.....	51
7.1	ESQUEMA DEL SISTEMA L2L	52
7.2	SALIDA DE LA TUBERÍA (PARED).....	55
7.3	VÁLVULA DE DESVÍO	55
7.4	VÁLVULA DE AIREACIÓN.....	57
7.5	SISTEMA DE LIMPIEZA	58
7.6	CUENCA DE MULCH	59
7.7	RESUMEN DE PARTES, HERRAMIENTAS Y PRESUPUESTO	61
7.8	INDICACIONES PARA EL RIEGO	62
7.8.1	¿QUÉ REGAR CON ESTE SISTEMA?.....	62
7.8.2	CANTIDAD DISPONIBLE PARA RIEGO	62

7.8.3	CONTROLES DE PARÁMETROS AL SISTEMA.....	64
8.	CONCLUSIONES	65
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	67

Lista de Tablas

Tabla 3-1: Brecha hídrica de distintas cuencas (Escenarios Hídricos 2030, 2018)	6
Tabla 3-2: Antecedentes exigidos para proyectos de reutilización de aguas grises (Ministerio de Obras Públicas, 2018)	13
Tabla 3-3: Calidad de aguas grises para usos urbanos (Ministerio de Salud, 2021).	15
Tabla 3-4: Calidad de aguas grises para usos recreativos (Ministerio de Salud, 2021).	15
Tabla 3-5: Calidad de aguas grises para usos ornamentales (Ministerio de Salud, 2021).	16
Tabla 3-6: Tratamiento primarios (Flores, 2020)	21
Tabla 3-7: Tratamiento secundarios aeróbicos (Godoy, 2021)	22
Tabla 3-8: Tratamiento terciarios (Godoy, 2021)	23
Tabla 3-9: Concentraciones de algunos parámetros de calidad del agua para aguas grises no tratadas o tratadas primariamente (OMS, 2013)	25
Tabla 4-1: Resumen del análisis de costos de diferentes tecnologías de tratamiento aplicables a escuelas y hogares. Traducido de (Rodríguez et. al., 2020)	30
Tabla 5-1: Etapas del sistema de tratamiento para cisternas. Adaptado de (MINVU, 2018).	32
Tabla 6-1: Cuadro para determinar el origen de agua en cada actividad	36
Tabla 6-2: Cantidad de encuestados por localidad	40
Tabla 6-3: Resumen perfil de los encuestados	43
Tabla 6-4: Litros per cápita por día consumidos para cada actividad	45
Tabla 6-5: Litros per cápita de aguas grises generadas por día	46
Tabla 8-1: Resumen de las partes del sistema L2L según cada componente	61
Tabla 8-2: Cálculo para determinar cantidad de árboles que se pueden regar	64

Lista de Figuras

Figura 3-1: Esquema para definir la brecha hídrica (Escenarios Hídricos 2030, 2018).....	6
Figura 3-2: Disponibilidad de agua según región (Ministerio del Medio Ambiente, 2016)	9
Figura 3-3: Infografía situación hídrica en la región de Coquimbo (Fundación Chile, 2018).	10
Figura 3-4: Número de viviendas particulares ocupadas, según origen del agua, por sectores (Instituto Nacional de Estadísticas, 2018).	17
Figura 3-5: Situación administrativa PTAS provincia Elqui. Adaptado de (Fundación Chile, 2018).	19
Figura 3-6: Situación administrativa PTAS provincia Limarí. Adaptado de (Fundación Chile, 2018).	19
Figura 3-7: Situación administrativa PTAS provincia Choapa. Adaptado de (Fundación Chile, 2018).	20
Figura 3-8: Situación administrativa de las PTAS en la provincia de Limarí.....	21
Figura 4-1: Mapa de isoyetas de la Región de Coquimbo junto a las escuelas del estudio. Traducido de: (Rodríguez, 2020).....	29
Figura 5-1: Etapas del sistema de tratamiento para cisternas. (MINVU, 2018).....	33
Figura 5-2: Etapas del sistema de tratamiento Filtro Jardinera (MINVU, 2018).	34
Figura 5-3: Esquema sistema filtro de acolchado (MINVU, 2018).	35
Figura 6-1: Ejemplo de un extracto de la encuesta en Google docs.	38
Figura 6-2: Formato para las preguntas de reutilización.	40
Figura 6-3: Porcentaje de encuestados por localidad.	41
Figura 6-4: Género de los encuestados.	42
Figura 6-5: Rango de edades de los encuestados.	42
Figura 6-6: Nivel educacional de los encuestados.....	43
Figura 6-7: Tamaño de las familias encuestadas.	43
Figura 6-8: Fuentes de origen del agua.	45
Figura 6-9: Distribución del consumo de agua por actividad.....	46

Figura 6-10: Distribución de aguas grises generadas por actividad	47
Figura 6-11: ¿En cuál área hay un mayor déficit de agua?	47
Figura 6-12: ¿Está familiarizado con el concepto de aguas grises?	48
Figura 6-13: ¿Conoce sobre la reutilización de aguas grises?.....	48
Figura 6-14: ¿Reutiliza agua en alguna de estas áreas?.....	49
Figura 6-15: ¿Reutilizaría en alguna de estas áreas?.....	49
Figura 8-1: Esquema simplificado sistema “Laundry to Landscape” (adaptado de Greywater Action, 2016)......	52
Figura 8-2: Esquema general del sistema L2L con sus 4 componentes principales (adaptado de Greywater Action, 2016).....	54
Figura 8-3: Esquema válvula de desvío y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016).	56
Figura 8-4: Ejemplo real de válvula de desvío y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016)......	56
Figura 8-5: Ubicación de la válvula de 3 vías sobre la lavadora (adaptado de Greywater Action, 2016)......	57
Figura 8-6: Esquema válvula de aireación y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016)......	58
Figura 8-7: Esquema del sistema de limpieza y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016)......	59
Figura 8-8: Esquema de la cuenca de mulch y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016)......	60
Figura 8-9: Parte superficial de la caja para válvulas con la tubería de ½”(adaptado de Greywater Action, 2016)......	61
Figura 8-10: Ejemplo etiqueta lavadora (izq.) y ejemplo etiqueta promedio según encuesta (der.)	63

1. INTRODUCCIÓN

Dado el contexto de sequía y cambio climático, donde las proyecciones en el país no son alentadoras en cuanto al agua caída disponible a futuro, es importante conocer y estudiar formas de dar apoyo al abastecimiento de agua. Una de ellas es disminuir el uso de agua potable (agua dulce natural), reutilizando aguas grises para tareas como: descarga de baños, riego, entre otros usos.

La extensión geográfica de Chile viene acompañada de distintos climas y junto a ellos una distribución de los recursos hídricos que no permite analizarla en términos nacionales. Considerando el clima predominantemente árido del norte y la abundancia de lluvias en la zona sur, se recomienda estudiar la disponibilidad de agua en términos regionales. Por mencionar una comparación, la región de Antofagasta tiene una disponibilidad de agua de 52 m³/persona/año, mientras que la región de Coquimbo presenta una disponibilidad de agua de 1020 m³/persona/año (Rodríguez et. al., 2020).

La escasez de agua en la región de Coquimbo es algo que se ha hecho notar en los últimos años, observándose una diferencia evidente entre las zonas urbanas y rurales, en especial considerando que en la última es donde se lleva a cabo la actividad agrícola y por ende donde más se hace presente la escasez de agua. De acuerdo con el último Censo (Instituto Nacional de Estadísticas, 2018) realizado el 2017, en áreas rurales solo 52,8% de las viviendas tienen acceso al agua mediante la red pública, el resto se abastece mediante noria o pozo (27,7%), río, vertiente, canal o similares (12,2%) y camión aljibe (7,2%), éste último siendo bastante frecuente en la IV región.

En la región de Coquimbo ya se han realizado algunos estudios de reutilización de aguas, dos casos recientes son el estudio de la Fundación Chile con la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) de Cerrillos de Tamaya en la provincia de Limarí (Fundación Chile, 2018) y el otro es el estudio de sistemas de reutilización de aguas grises en escuelas rurales públicas (Rodríguez et al., 2020) realizado por académicos de la Pontificia Universidad Católica de Chile (en adelante PUC), ambos dejando buenas enseñanzas para seguir trabajando en esta línea de estudio.

De las enseñanzas destacables es que desde un punto de vista netamente económico estos sistemas no son factibles, al menos para la escala estudiada, por lo que actores privados no estarían dispuestos a invertir en ellos. Sin embargo, dada la situación de la región, que está en una sequía desde hace varios años, estos proyectos deben evaluarse con una mirada que exceda la económica. Se debe considerar el efecto que podría tener el reúso de aguas grises en zonas de riesgo, por ejemplo, el estudio de la PUC menciona una mayor disponibilidad de agua potable, aumento de áreas verdes con la nueva disponibilidad del recurso o simplemente una mejora en la calidad de vida (Rodríguez et al., 2020).

Este trabajo busca realizar un análisis crítico de la reutilización de aguas grises y con esto una posible reducción del consumo de agua potable para actividades que quizás no necesitan de ésta ¿podría generar un cambio significativo en costo y consumo la reutilización de aguas grises en la provincia? Para finalizar se deja un comentario extraído del Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas del año 2017, titulado “Aguas residuales, el recurso desaprovechado”, este destaca que “frente a la siempre creciente demanda, las aguas

residuales están cobrando importancia como fuente de agua alternativa fiable, cambiando el paradigma de la gestión de aguas residuales de tratamiento y eliminación a reutilización, reciclado y recuperación del recurso”. En este sentido, las aguas residuales ya no se consideran como un problema que necesite solución, sino como parte de la solución a los retos a los que se enfrentan las sociedades hoy en día” (WWAP, 2017).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una alternativa, a nivel de ingeniería conceptual, para mejorar el uso de las aguas grises generadas en comunidades rurales de la región de Coquimbo, en específico la provincia de Limarí, basándose en las necesidades y hábitos de consumo hídricos reportados por las personas del sector mediante una encuesta.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información de estudios realizados internacional y nacionalmente de caracterización y recuperación de aguas grises, con el fin de obtener una visión del estado del arte.
- Recopilar antecedentes del uso de las aguas de la zona de estudio mediante una encuesta de hábitos de consumo hídrico distribuida de forma online y presencial, esto para poder determinar las actividades que generan más aguas grises y en cuales la población percibe un mayor déficit de agua.

1.2 ALCANCES

Para alcanzar los objetivos propuestos se debe partir por entender el tema principal del trabajo, que serían las aguas grises. Para esto se realiza una revisión bibliográfica de documentos que abarquen dicho concepto, en particular se revisa la Ley 21.075 que “Regula la Recolección, Reutilización y Disposición de Aguas Grises” (Ministerio de Obras Públicas, 2018) que define el concepto de aguas grises y otros conceptos útiles para este trabajo. Además, se analizan otros trabajos que estudian las aguas grises para comparar la definición nacional con las de otros países como Israel (Oron, 2014), Jordania, Países Bajos (Ghunmi et al., 2011) y Portugal (Meléndez-Pérez, 2019).

La Región de Coquimbo también se estudia en el marco teórico de este trabajo, esto porque la caracterización de aguas grises se realiza en la provincia de Limarí que pertenece a dicha región. Un aspecto importante de la Región de Coquimbo es la escasez de agua, atribuida a la sequía y actividad agrícola, para entender dicho fenómeno se revisan estudios que hayan abarcado este tema como el de Escenarios Hídricos (Escenarios Hídricos 2030, 2018). Este trabajo está enfocado en la zona rural de la Región de Coquimbo, por lo que también se revisan trabajos que hayan analizado esa parte de la población, y expliquen los factores que afectan a la escasez del recurso hídrico, como es el caso de los estudios de (Arellano Hernández, 2021) y (Rodríguez et. al., 2020).

Para realizar la caracterización de aguas grises, propuesta en los objetivos específicos, se toma como referencia la encuesta presentada en el trabajo de (Rodríguez et. al., 2020) para realizar un estudio a los hogares de la provincia de Limarí, detectar los orígenes de la fuente de agua que utilizan, en que actividades utilizan más este recurso y cuales actividades generan mayor cantidad de aguas grises. Esta encuesta hay que adaptarla para que tenga un formato que facilite su respuesta y distribución, es decir, debe ser corta y simple de entender.

El producto final de este trabajo, que sería una alternativa de reutilización de aguas grises, se limita a entregar un presupuesto aproximado de dicha alternativa, junto a especificaciones técnicas recopiladas de sistemas similares a nivel de ingeniería conceptual. Queda fuera del alcance de este trabajo llevar la alternativa a un nivel de ingeniería más avanzado o construirla.

2. METODOLOGÍA

I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una revisión de distintos documentos relacionados con el tema de estudio, en especial aquellos que definen lo que son las aguas grises y la sequía. También se indagó en distintos sistemas de tratamiento de aguas grises que se han aplicado en el país y resto del mundo.

II. REALIZACIÓN DE ENCUESTA

A través de una encuesta en la provincia de Limarí, la cual se distribuyó vía online y presencial con ayuda de practicantes que se encontraba en la zona, se recopiló la información necesaria para caracterizar los hábitos de consumo hídrico de los encuestados y evaluar cualitativamente su conocimiento de aguas grises. Para esto, primero se preguntó si sabían lo que son las aguas grises y una vez abarcado eso, se pregunta si estarían dispuestos a utilizarlas en alguna actividad, ya sea del hogar o de trabajo (como agricultura). También se buscó realizar una encuesta de los hábitos de consumo de agua en cada hogar para determinar en qué actividad se está utilizando la mayor cantidad de agua y si dicha actividad podría reducir su demanda si se implementa un sistema de aguas grises.

III. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos de la encuesta realizada se cargaron a la plataforma “forms” de Google Drive en la cual se eligió la mejor manera de graficar y/o presentar los datos, lo que dio como resultado los gráficos y tablas presentadas en el capítulo 6, lo que sirvió para comparar los resultados con el estudio de Rodríguez que encuesta a localidades similares (Rodríguez, 2020).

IV. PROPUESTA DE ALTERNATIVA A NIVEL DE INGENIERÍA CONCEPTUAL Y RECOMENDACIONES.

Una vez recopilados los datos de las encuestas, se realizó una comparativa con casos de estudio conocidos y se determinó si alguna de las soluciones existentes ayudaría a la comunidad o si hay que realizar una solución híbrida que se adapte a las necesidades específicas de la localidad. Finalmente se opta por un sistema de reutilización casero utilizando la lavadora que tiene exigencias alcanzables para un usuario promedio con respecto a las legislaciones vigentes.

3.MARCO TEÓRICO

3.1 SEQUÍA

3.1.1 SEQUÍA NIVEL PAÍS

Para entender mejor el contexto de este trabajo es importante explicar el concepto de sequía en sus distintos niveles, partiendo de manera macro (país) hasta adentrarnos de forma más detallada en la zona de estudio que es la provincia de Limarí. Una buena definición de sequía es la que entrega Ortega-Gaucin, que explica: la sequía es un fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial con respecto a la considerada como normal, que no presenta epicentro ni trayectoria definida y se extiende de manera irregular a través del tiempo y del espacio, provocando que el agua disponible sea insuficiente para satisfacer las necesidades humanas y de los ecosistemas (Ortega-Gaucin, 2013).

Dada la geografía de Chile, las condiciones climáticas y atmosféricas de cada región son muy variables entre ellas, por lo que ver los promedios a nivel país puede resultar engañoso a la hora de realizar un análisis de sus recursos hídricos. El promedio nacional de agua proveniente de precipitaciones y escorrentías es de 53.000 m³/habitante/año, valor que supera con creces a la media mundial de 6.600 m³/habitante/año (MOP , 2011). Estos números no son tan alentadores porque la variabilidad de aguas superficiales y subterráneas disponible es muy alta entre regiones, teniendo mínimos de 0,01 m³/s en la zona norte y 3.480 m³/s en cuencas de la zona austral (Fundación Chile, 2018).

Otra forma de evidenciar estas diferencias entre regiones es con el concepto de brecha hídrica, que en palabras simples es la relación entre oferta y demanda del agua, que se detalla en la Figura 3-1. En la Tabla 3-1 se presentan distintas cuencas del estudio de Escenarios Hídricos 2030 donde se puede apreciar la variabilidad entre regiones y la descripción de cómo interpretar ciertos rangos de valores de brecha hídrica.

Los valores para obtener esta brecha hídrica (relación oferta/demanda de agua) que se presenta en la Tabla 3-1 consideran en la oferta los m³/s que aportan las cuencas en el área de estudio (oferta aguas superficiales) y los m³/s de aguas subterráneas, ambos con datos obtenidos de fuentes como la DGA o INH. Por otro lado, la demanda se calcula considerando los m³/s de Derechos de Agua (DAA), los m³/s correspondientes a captación, que es el volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por los diferentes usuarios, y finalmente los m³/s de devolución, que corresponde al volumen de agua que después de ser utilizada por los usuarios es retornada al sistema natural. Para mayor detalle en los cálculos y valores se puede revisar (Escenarios Hídricos 2030, 2018).

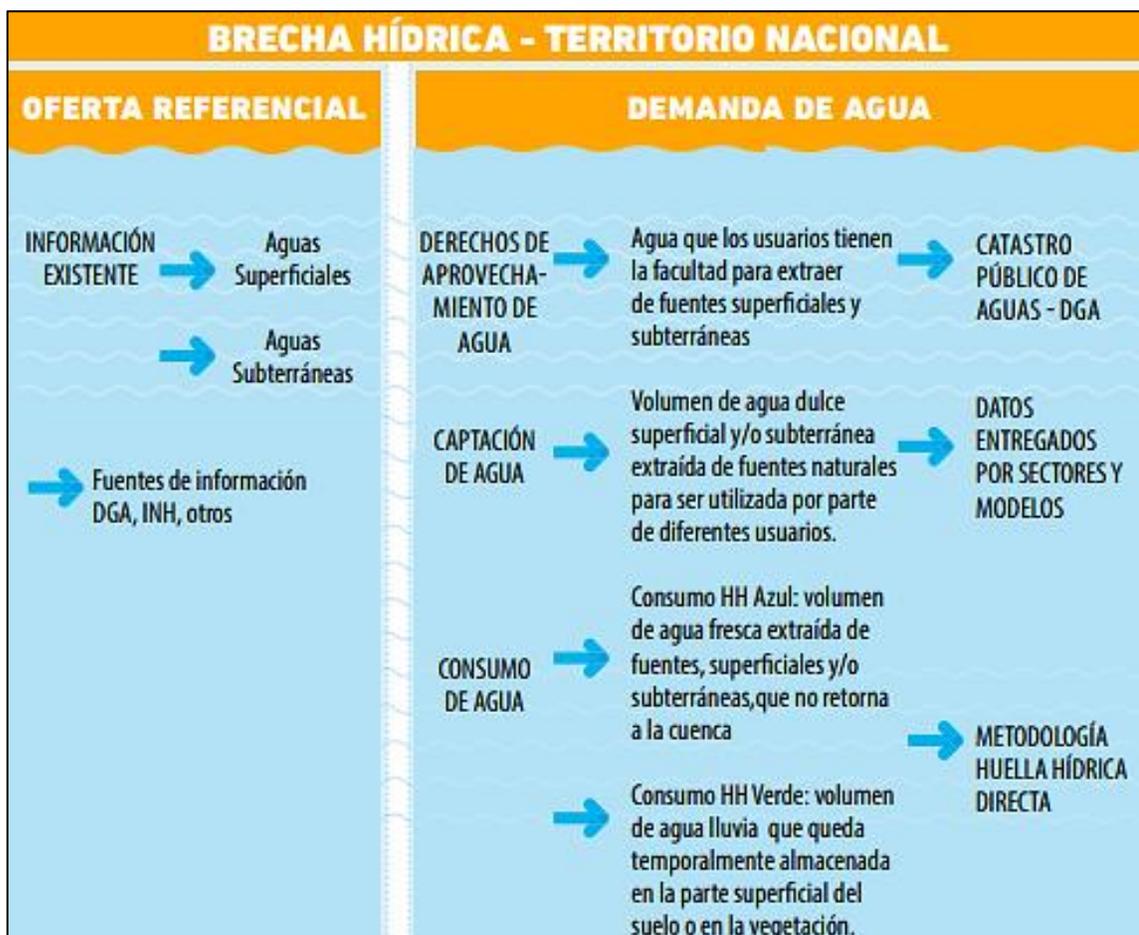


Figura 3-1: Esquema para definir la brecha hídrica (Escenarios Hídricos 2030, 2018)

Tabla 3-1: Brecha hídrica de distintas cuencas (Escenarios Hídricos 2030, 2018)

Región	Cuenca	Brecha Hídrica (%)	Explicación
Región de Coquimbo	Río Los Choros	824	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor
Región de Valparaíso	Río La Ligua	129	
Región de Arica y Parinacota	Río San José	87	

Región	Cuenca	Brecha Hídrica (%)	Explicación
Región de Valparaíso	Río Petorca	87	limitador del desarrollo económico
Región de Coquimbo	Río Limarí	87	
Región de Atacama	Río Copiapó	63	
Región de Coquimbo	Río Quilimarí	52	
Región de Valparaíso	Costeras entre Aconcagua y Maipo	44	
Región de Coquimbo	Río Elqui	43	
Región de Coquimbo	Río Choapa	40	Existe presión sobre el recurso hídrico siendo necesario el ordenamiento de la oferta y la demanda, asignar prioridades de uso, prestar atención a los ecosistemas acuáticos y mejorar la eficiencia hídrica
Región de Valparaíso	Río Aconcagua	38	
Región de Arica y Parinacota	Río Lluta	36	
Región de Coquimbo	Costeras entre Río Choapa y Río Quilimarí	34	
Región de Atacama	Río Salado	33	

Región	Cuenca	Brecha Hídrica (%)	Explicación
Región de O'Higgins	Río Rapel	21	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo
Región Metropolitana	Río Maipo	17	
Región de Coquimbo	Río Huasco	15	
Región del Maule	Río Maule	13	
Región de Tarapacá	Pampa del Tamarugal	12	
Región de Atacama	Salar de Atacama	10	
Región del Maule	Río Mataquito	6	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico
Región del Biobío y Región de la Araucanía	Río Biobío	1	

Para finalizar esta sección se presenta la Figura 3-2 que muestra la disponibilidad de agua según cada región de Chile. Apreciando el gráfico (Figura 3-2) podemos evidenciar que, las regiones al sur de la región Metropolitana (O' Higgins, Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos – Los Lagos, Aysén, Magallanes) presentan como mínimo 10 veces más disponibilidad de agua que las regiones del Norte (Arica y Parinacota, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Valparaíso). La diferencia es mucho mayor cuando se compara la región de Aysén, que es la que presenta una mayor disponibilidad de agua (3.000.000 m³/persona/año aproximadamente), con la región de Antofagasta (80 m³/persona/año aproximadamente). Teniendo en cuenta esta perspectiva y diferencias a nivel país nos adentramos en el caso específico de la región de Coquimbo.

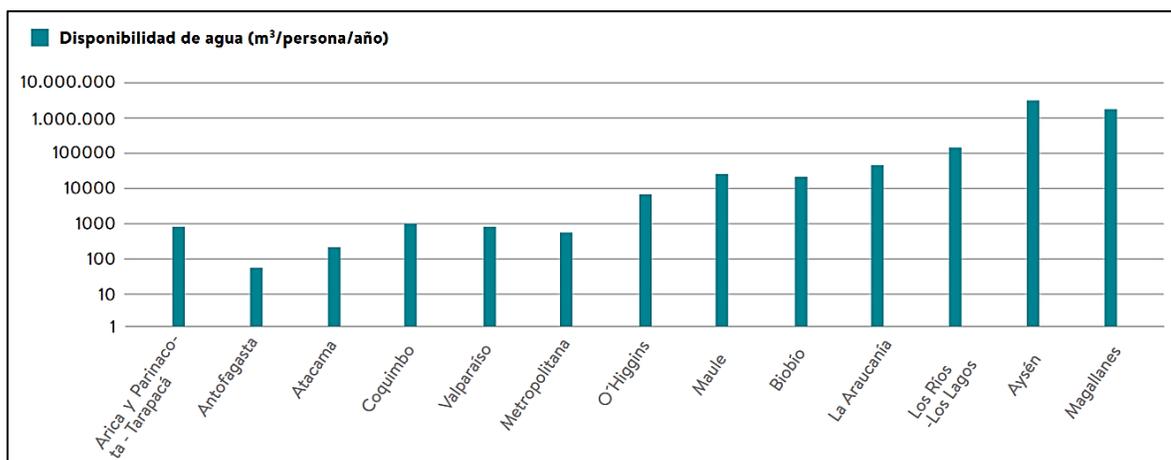


Figura 3-2: Disponibilidad de agua según región (Ministerio del Medio Ambiente, 2016)

3.1.2 SEQUÍA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

La región de Coquimbo es una de las que presenta menor disponibilidad de agua por persona (ver Figura 3-2) y presenta varias particularidades en sus zonas rurales como es el abastecimiento mediante camiones aljibe y sistemas de agua potable rural. El plan estratégico para enfrentar la escasez hídrica elaborado el 2015 menciona que la escasez hídrica en la región ha impactado gravemente el uso doméstico, o consumo humano. En la actualidad, en muchos sectores se distribuye el agua mediante camiones aljibe, la frecuencia de estos camiones varía, de acuerdo con los sistemas de acumulación existentes en las diferentes localidades y las distancias que se deben recorrer para llegar a destino.

Pese a lo anterior, se debe tener en consideración que, más allá de las sequías, la distribución de agua en camiones aljibe es una característica intrínseca de la región, debido a la dispersión de la población y configuración geográfica de las zonas abastecidas, lo que limita implementar soluciones definitivas para paliar la escasez de agua, tales como la instalación de sistemas de agua potable rural (APR) (GORE, 2015) o sistemas colectivos de abastecimiento de agua que funcionan a través de conducciones en tuberías que transportan agua desde embalses originalmente destinados para riego (Díaz, 2022).

En la Región de Coquimbo existen sectores en estado crítico, donde no se abastece con agua ni siquiera para suplir el umbral mínimo de acceso al agua establecido por la OMS de 100 litros/persona/día. Las cuencas del río Los Choros, Limarí, Quilimarí y Elqui presentan actualmente una de las mayores brechas hídricas de la región y un 78% de los acuíferos analizados presentan un descenso significativo (Escenarios Hídricos 2030, 2018). La Figura 3-3 muestra un resumen de la situación hídrica en la región de Coquimbo, destacando lo siguiente:

- Baja en las precipitaciones;
- Déficit de los caudales;

- Embalses que almacenan un porcentaje ínfimo en comparación a su capacidad total previo a las lluvias del 2017.

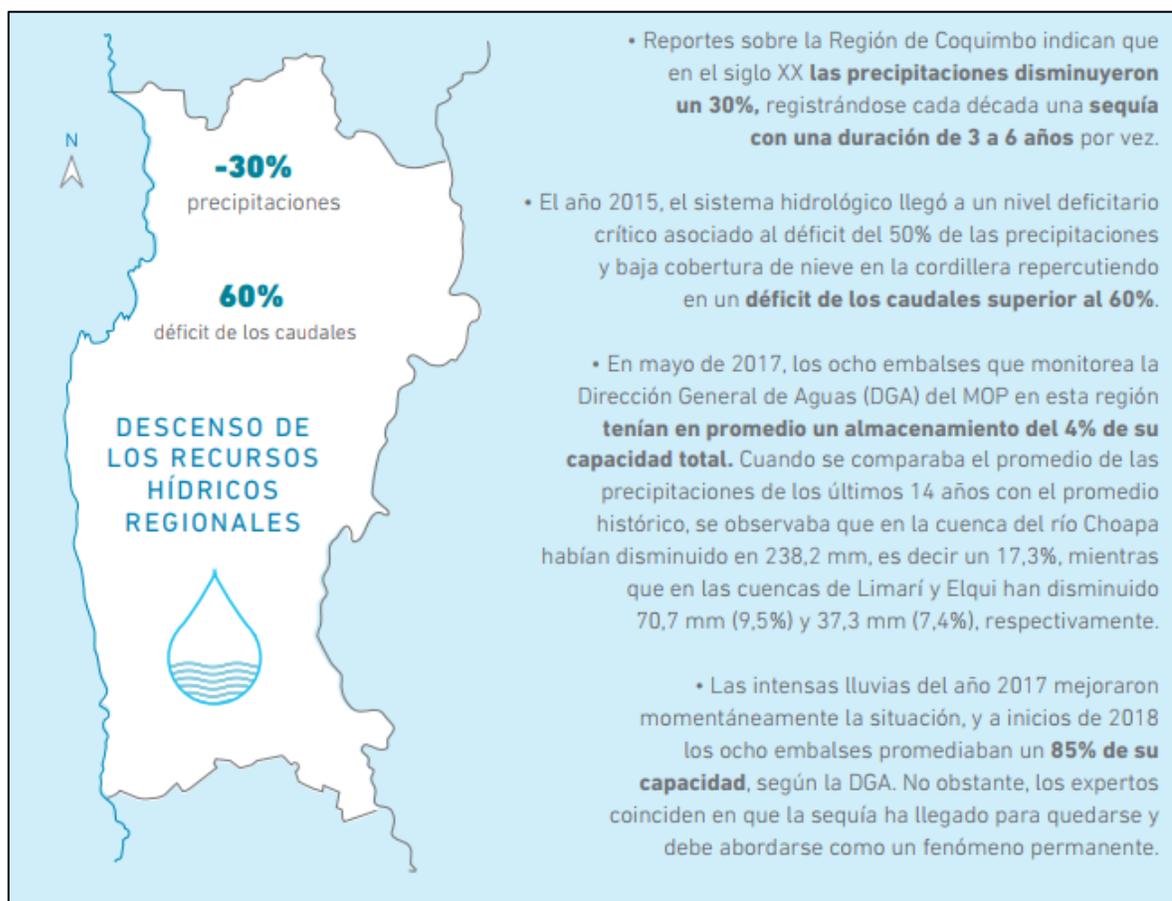


Figura 3-3: Infografía situación hídrica en la región de Coquimbo (Fundación Chile, 2018).

Una idea que se propone en el estudio de la Fundación Chile es enfocar las soluciones y energías al sector con mayor consumo hídrico de la región, pensando que reutilizando las aguas en dicho sector se tendría una dotación de agua disponible para otros usos. Actualmente el 82% del consumo hídrico se encuentra concentrado en la agricultura, por lo que sería ideal buscar una solución en este sector mediante la reutilización de aguas grises (Fundación Chile, 2018).

3.2 AGUAS GRISES

3.2.1 DEFINICIONES

Es importante tener en cuenta algunas definiciones que se utilizan continuamente en este trabajo. A continuación, se enumeran algunas extraídas directamente de la Ley 21.075 “Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises” (Ministerio de Obras Públicas, 2018):

- **Aguas grises:** aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.
- **Aguas grises tratadas:** aquellas que se han sometido a los procesos de tratamiento requeridos para el uso previsto.
- **Aguas servidas domésticas:** aguas residuales que contienen los desechos de una edificación, compuestas por aguas grises y aguas negras.
- **Aguas residuales:** aquellas que se descargan después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso.
- **Aguas negras:** aguas residuales que contienen excretas.

3.2.2 USOS PERMITIDOS

El artículo 8 de la Ley 21.075 (Ministerio de Obras Públicas, 2018) establece cinco (5) posibles destinos para las aguas grises tratadas, los cuales son:

1. **Urbanos:** que incluye el riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios.
2. **Recreativos:** incluye el riego de áreas verdes públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público.
3. **Ornamentales:** incluye las áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público.
4. **Industriales:** incluye el uso en todo tipo de procesos industriales no destinados a productos alimenticios y fines de refrigeración no evaporativos.
5. **Ambientales:** incluye el riego de especies reforestadas, la mantención de humedales y todo otro uso que contribuya a la conservación y sustentabilidad ambiental.

3.2.3 USOS QUE SE PROHIBEN

De igual forma la Ley 21.075 (Ministerio de Obras Públicas, 2018) en su artículo 9 prohíbe la reutilización de aguas grises tratadas para 8 usos, que pueden ser más según el caso, estos son:

1. Consumo humano y en general servicios de provisión de agua potable, así como riego de frutas y hortalizas que crecen a ras de suelo y suelen ser consumidas crudas por las personas, o que sirvan de alimento a animales que pueden transmitir afecciones a la salud humana.
2. Procesos productivos de la industria alimenticia.
3. Uso en establecimientos de salud en general.
4. Cultivo acuícola de moluscos filtradores.
5. Uso en piletas, piscinas y balnearios.
6. Uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
7. Uso en fuentes o piletas ornamentales en que exista riesgo de contacto del agua con las personas.
8. Cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere riesgoso para la salud.

El punto número 8 es de particular interés, porque deja a criterio de la autoridad sanitaria cualquier otro uso que no se encuentre en la lista anterior.

3.3 CONDICIONES BÁSICAS PARA LA REUTILIZACIÓN

Como complemento al artículo 3° de la Ley 21.075 actualmente se tiene el reglamento “Proyecto de Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises”, el cual establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir el diseño y la operación de los sistemas destinados a la reutilización de aguas grises. Dicho reglamento aún se encuentra en consulta pública al momento de redactar este trabajo (Agosto 2022).

Este reglamento proporciona definiciones que no incluye la Ley 21.075 que ayudan a entender los sistemas de reutilización de aguas grises, estas son (Ministerio de Salud, 2021):

- **Cloro libre residual (CLR):** Formas de cloro existentes en el agua, producto de un proceso de desinfección por cloración, después que la demanda ha sido satisfecha. Está formado por cloro libre, cloro combinado o ambos.
- **Coliformes fecales (CF):** Bacterias aerobias y anaerobias facultativas, Gramnegativo, no formadoras de esporas, fermentadoras de la lactosa a 44,5 °C con producción de ácido y gas. Son capaces de sobrevivir y multiplicarse en el medio ambiente natural. Son residentes del tracto digestivo de humanos y animales de sangre caliente.
- **Demanda Bioquímica de Oxígenos (DBO₅):** Cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días, por las bacterias que realizan la oxidación o biodegradación biológica de la materia orgánica contenida en el agua.
- **Riego subsuperficial:** Aplicación del agua por debajo de la superficie del terreno objeto de riego, lo más cercano a la zona radicular de las especies vegetales.
- **Riego superficial:** Aplicación del agua directamente sobre la superficie del terreno objeto de riego, la que fluye desde las zonas más altas hacia las más bajas por gravedad, disminuyendo el flujo a medida que se infiltra en el terreno.
- **Sistema de reutilización de aguas grises:** Conjunto de instalaciones destinadas a la recolección, tratamiento, almacenamiento y conducción de las aguas grises para su uso en la alternativa de reutilización que se proyecte. Además, incluye instalaciones para el uso de las aguas grises tratadas, el cual debe cumplir con la calidad definida según la normativa vigente y el uso previsto.
- **Sistema de reutilización de aguas grises domiciliario:** Aquellos en que se aprovechan estas aguas al interior de inmueble en que se producen y tratan, para los fines que se autorizan.
- **Sistema de reutilización de aguas grises domiciliarios colectivos:** Aquellos en que se aprovechan estas aguas que se producen y tratan al interior de un edificio o conjunto de edificaciones que conforman un condominio o comunidad.

- **Sólidos suspendidos totales (SST):** Material de una muestra de agua, retenido por un filtro de tamaño de poro de 20 µm o menor, después de su evaporación y secado bajo condiciones específicas.
- **Turbiedad:** Interferencia óptica de las materias en suspensión en el agua que produce reducción de su transparencia.

Cualquier proyecto de reutilización de aguas grises debe contar con un mínimo de antecedentes para ser aprobado, los cuales se enumeran en el artículo 3 de la Ley 21.075 y el artículo 6 del Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises. La Tabla 3-2 recopila estos antecedentes y en que documento se mencionan.

Tabla 3-2: Antecedentes exigidos para proyectos de reutilización de aguas grises (Ministerio de Obras Públicas, 2018)

Antecedente	Exigido por
Identificación del peticionario	Ley 21.075
La individualización precisa del lugar, área o áreas donde tendrá lugar la reutilización	Ley 21.075
El nombre o identificación del operador si fuera un sistema de tratamiento domiciliario	Ley 21.075
La indicación clara y precisa de los fines que se dará a las aguas grises tratadas	Ley 21.075
El sistema de tratamiento a emplear	Ley 21.075
La acreditación del hecho de contar con conexión a la red pública de alcantarillado, cuando éste exista, o con un sistema particular de aguas servidas, sea este individual o colectivo	Ley 21.075
Memoria técnica y plano del proyecto que describan el sistema a tratar	Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises

Antecedente	Exigido por
Cálculo del volumen de aguas grises generado por el sistema de reutilización	Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises
Manual de operación del sistema	Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises
Definición de los parámetros de control del sistema de tratamiento que permitan verificar su adecuado funcionamiento	Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises
Copia del título profesional del responsable del diseño del sistema de reutilización de aguas grises	Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises
Contenidos de la capacitación de los operadores del sistema e identificación del relator	Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises

Algunos de los antecedentes exigidos que se presentan en la Tabla 3-2 no requieren de mayor explicación, otros se detallan en el reglamento, por ejemplo, la memoria técnica y planos del proyecto debe incluir el detalle de la recolección (artefactos y caudal considerado en el proyecto) y el tratamiento de las aguas grises crudas, y la conducción y reutilización de las aguas grises tratadas (Ministerio de Salud, 2021).

Los cálculos de volumen de aguas grises para el sistema de reutilización (ver Tabla 3-2) deben enmarcarse en un determinado período de tiempo y debe indicarse el volumen de agua requerido en el o los usos previstos (en el mismo período de tiempo). En caso de reutilización en riego, el reglamento (Ministerio de Salud, 2021) indica que en el cálculo del volumen de agua requerido se debe determinar la demanda de agua en riego y contrarrestarla con la generación de aguas grises, para ello se debe incluir:

- La capacidad de infiltración del terreno.
- La superficie de riego.
- El tiempo de duración de la faena.

3.4 CALIDAD DE AGUAS GRISES PARA DISTINTOS USOS

El Reglamento de reutilización de aguas grises define la calidad esperada para los 3 primeros usos que se definen en la Ley 21.075, que serían urbanos, recreativos y ornamentales, estos valores se presentan en la Tabla 3-3, Tabla 3-4 y Tabla 3-5 respectivamente.

Tabla 3-3: Calidad de aguas grises para usos urbanos (Ministerio de Salud, 2021).

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO ₅	mg/l	10
SST	mg/l	10
CF	UFC/100ml ⁽¹⁾	10
Turbiedad	UNT ⁽²⁾	5
Cloro libre residual	mg/l	$0,5 \leq X \leq 2$

(1): Unidades formadoras de colonia por 100 mililitros

(2): Unidades nefelométricas de turbidez

Tabla 3-4: Calidad de aguas grises para usos recreativos (Ministerio de Salud, 2021).

Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		Riego superficial	Riego subsuperficial
DBO ₅	mg/l	30	240
SST	mg/l	30	140
CF	UFC/100ml	200	1000

Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		Riego superficial	Riego subsuperficial
Turbiedad	UNT	10	-
Cloro libre residual	mg/l	$0,5 \leq X \leq 2$	-

Tabla 3-5: Calidad de aguas grises para usos ornamentales (Ministerio de Salud, 2021).

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

3.5 ZONAS RURALES

Como ya se ha expresado, no tiene sentido analizar el problema de la escasez de agua a nivel nacional, dada la heterogeneidad entre regiones. De manera similar, este problema hay que dividirlo entre la zona urbana y la zona rural, ya que esta última es la que presenta mayores problemas en términos de abastecimiento de agua.

La Figura 3-4 muestra las fuentes de acceso al agua para zona urbana y rural según el Censo del año 2017. Se puede apreciar que cerca del 99% de las viviendas en zonas urbanas tiene acceso al agua potable a través de la red pública, mientras que para zonas rurales este porcentaje baja a un 53%. En la zona rural también se presenta una mayor cantidad de viviendas que tiene acceso al agua mediante pozo o noria (27,7%), río o vertiente (12,2%) y camión aljibe (7,2%), estos valores son mayores en porcentaje y cantidad a los declarados en zonas urbanas.

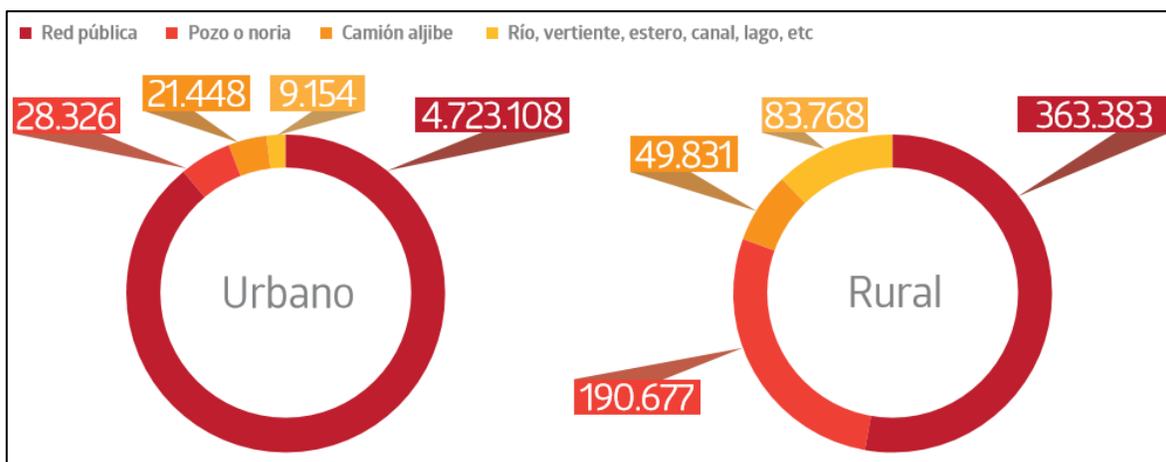


Figura 3-4: Número de viviendas particulares ocupadas, según origen del agua, por sectores (Instituto Nacional de Estadísticas, 2018).

La Fundación Amulén en su estudio el año 2018 denominado “Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto” explica que las ciudades se dividen según su densidad poblacional en tres categorías: concentradas, semi – concentradas y dispersas. El abastecimiento de agua potable en localidades concentradas es de un 100%, mientras que en las localidades semi - concentradas solo un 41% tienen agua potable, mientras que el resto de la población se abastece de pozos, ríos, esteros, lagos o camiones aljibes (Fundación Amulén, 2018).

En el mundo rural, el 47,2% de la población se abastece de pozos, ríos, vertientes, esteros o camiones aljibes (Fundación Amulén, 2018), por lo que casi la mitad de este sector carece de agua potable.

En relación con el abastecimiento en zonas rurales, se menciona que la provisión de los servicios de agua potable para las áreas rurales en condiciones de calidad, continuidad y cantidad es un desafío que demanda la atención especial de los gobiernos de todo el mundo, debido a las características particulares propias de la ruralidad. Dentro de tales características se destacan:

1. Dispersión de las viviendas.
2. Limitaciones geográficas.
3. Bajo nivel socioeconómico de los habitantes.
4. Utilización de tecnologías no convencionales para la provisión de los servicios.
5. Dificultades para ofrecer asistencia técnica y capacitación a los prestadores de los servicios que generalmente cuentan con una reducida capacidad financiera, administrativa y técnica.

Estas particularidades de las zonas rurales explican, en gran parte, la disparidad que existe entre las coberturas urbanas y rurales en el mundo (Fundación Amulén, 2018).

3.6 SISTEMAS/OBRAS DE TRATAMIENTO

Para entender a un nivel conceptual lo que son los sistemas de tratamiento, se utilizan las definiciones que entrega la Ley 21.075 (Ministerio de Obras Públicas, 2018). Dicha ley separa de forma muy clara el concepto de tratamiento y el de reutilización, siendo este último un concepto mucho más amplio que engloba al de tratamiento. A continuación, se presentan algunas definiciones de interés para el trabajo:

- **Planta de tratamiento de aguas grises:** instalaciones y equipamiento destinados al proceso de depuración de éstas, con el objetivo de alcanzar los estándares exigidos para su reutilización.
- **Sistema de reutilización de aguas grises:** conjunto de instalaciones destinadas a la recolección, tratamiento, almacenamiento y conducción de las aguas grises para su uso en la alternativa de reutilización que se proyecte. Incluye, además, instalaciones para el uso del efluente tratado, el cual debe cumplir con la calidad para el uso previsto definida en la reglamentación. Las plantas de tratamiento de aguas grises se entenderán admitidas como uso de suelo para efectos de su emplazamiento, debiendo respetar las condiciones que al efecto establezca la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Se desprenden 2 tipos de sistemas de reutilización a partir de esta definición:
 - **Sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios:** aquellos en que se aprovechan estas aguas al interior del inmueble en que se producen y tratan, para los fines que se autorizan.
 - **Sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios colectivos:** aquellos en que se aprovechan estas aguas que se producen y tratan al interior de un edificio o conjunto de edificaciones que conforman un condominio o comunidad

De estas definiciones se puede desprender que el concepto de reutilización es uno que abarca el proceso de recolección, tratamiento, almacenamiento y conducción. Mientras que tratamiento se enfoca en los procesos de depuración de las aguas grises para mejorar las propiedades de éstas. La Figura 3-5, Figura 3-6 y Figura 3-7 muestran la situación administrativa de las plantas de tratamiento en la región de Coquimbo, donde se observa que APR es el sistema administrativo que predomina en la región, dichos sistemas administrativos se describen a continuación:

- **Cooperativas y/o comités de agua potable rural (APR):** son organizaciones comunitarias que se rigen por la Ley de Juntas de Vecinos, las que no persiguen fines de lucro, gozan de personalidad jurídica y sus socios ingresan y participan de forma voluntaria, personal e indelegable. Su objetivo principal es administrar, operar y mantener el servicio de agua potable en cada localidad donde el MOP ha construido un servicio, junto con la recolección y tratamiento de las aguas residuales urbanas generadas por la comunidad (Fundación Chile, 2018)

- **Administración de municipios:** este tipo de administración destina recursos económicos y profesionales para mantener las PTAS rurales que están bajo su cargo en condiciones óptimas de operación (Fundación Chile, 2018). Una excepción a este tipo de administración son los establecimientos educacionales que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas servidas, éstos son administrados por el departamento educacional correspondiente.
- **Juntas vecinales (JJVV):** son organizaciones comunitarias de carácter territorial, representativas de las personas que residen en un mismo barrio y cuyo objetivo es promover el desarrollo de la comunidad, defender los intereses y velar por los derechos de los vecinos. (Fundación Chile, 2018).

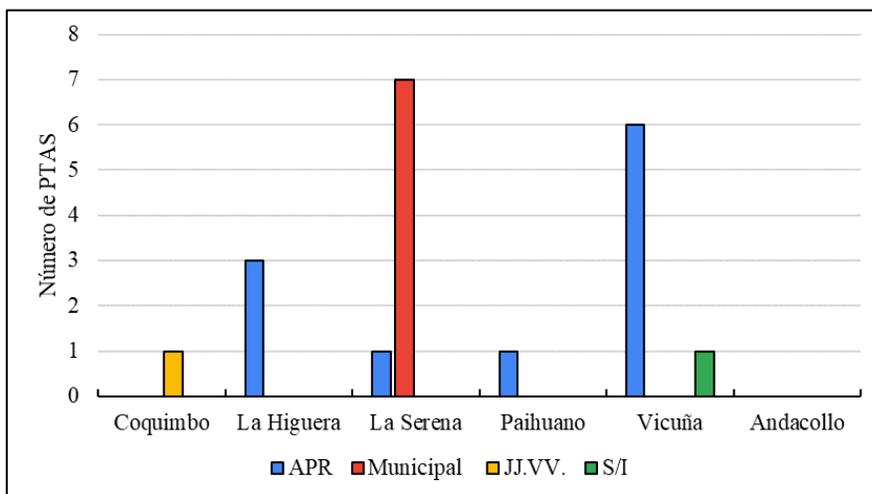


Figura 3-5: Situación administrativa PTAS provincia Elqui. Adaptado de (Fundación Chile, 2018).

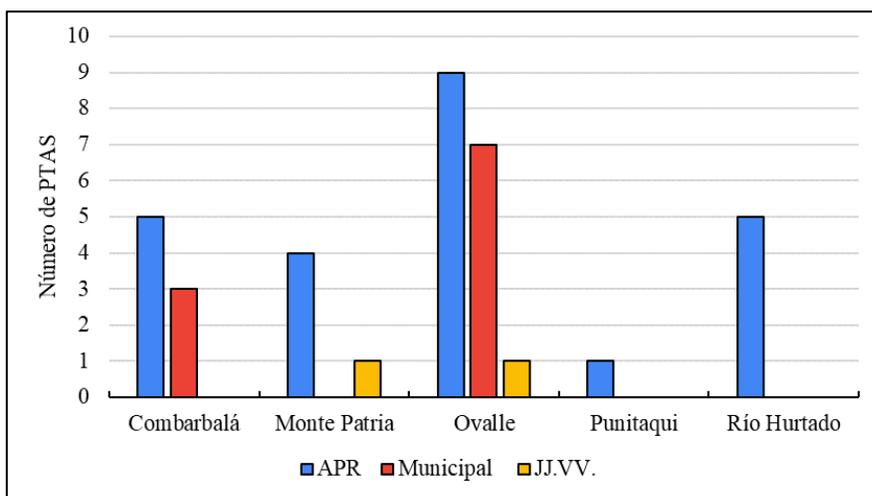


Figura 3-6: Situación administrativa PTAS provincia Limarí. Adaptado de (Fundación Chile, 2018).

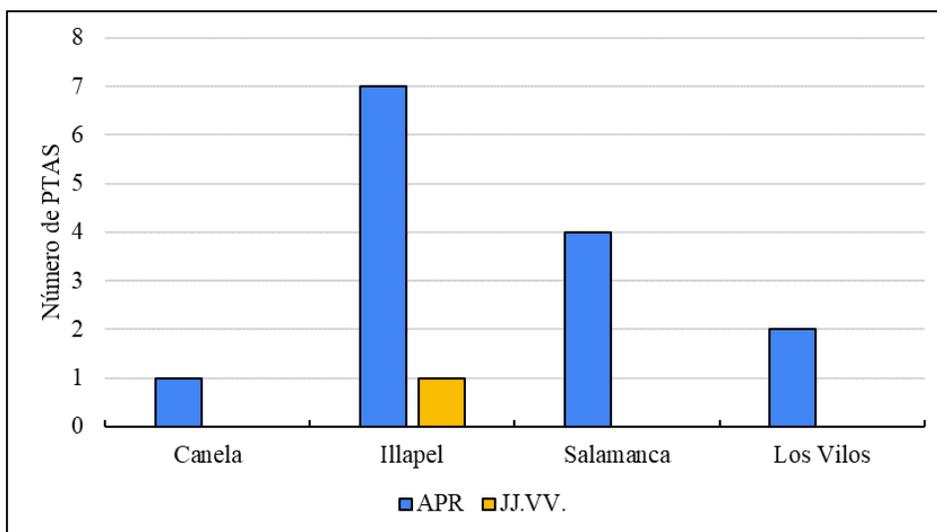


Figura 3-7: Situación administrativa PTAS provincia Choapa. Adaptado de (Fundación Chile, 2018).

3.6.1 APR

Dado que las APR representan el mayor porcentaje de PTAS en la provincia de Limarí (ver

Figura 3-8) se hace necesario realizar una breve descripción de ellas. Estas organizaciones se hacen cargo de realizar los cobros de tarifa fija y por metro cúbico de agua residual tratada, lo que se utiliza para cancelar los gastos fijos y variables de la PTAS (Fundación Chile, 2018).

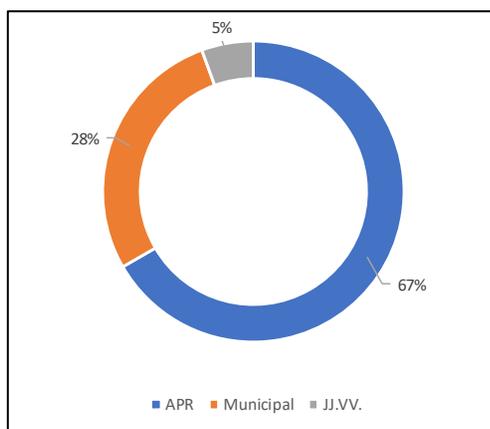


Figura 3-8: Situación administrativa de las PTAS en la provincia de Limarí

3.7 TECNOLOGÍA PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO

3.7.1 TRATAMIENTO PRIMARIO

Los tratamientos primarios permiten la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas para pasar a un tratamiento secundario. Corresponden a procesos físicos y químicos, en la Tabla 3-6 se presentan los procesos más comunes.

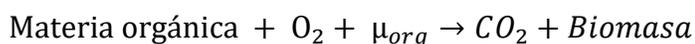
Tabla 3-6: Tratamiento primarios (Flores, 2020)

Procesos	Objetivos
Desbaste	Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices)
Desarenado	Separación de partículas sólidas pequeñas de alta densidad
Sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión entre 1mm – 1m
Flotación	Remoción de grasas y aceites (arrastre por burbujas de aire)
Coagulación/Floculación	Mejora la sedimentación de partículas en suspensión de sistemas coloidales, alternando propiedades físico-químicas de las partículas, acelerando su decantación.

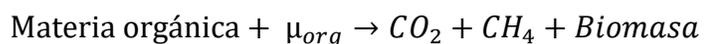
3.7.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Estos procesos tienen como objetivo principal la degradación de materia orgánica mediante procesos biológicos para reducir la demanda de oxígeno disuelto. En general, se utilizan procesos artificiales aeróbicos y anaeróbicos, también existen otros que contemplan el uso de humedales artificiales, biodiscos y lombrifiltros (Godoy, 2021). Los procesos más conocidos de tratamiento secundario son los aeróbicos y anaeróbicos, los cuales se describen a continuación:

- **Proceso aeróbico:** Mecanismo de remoción de materia orgánica mediante microorganismos aeróbicos (μ_{org}). Debido a lo anterior, requieren de aireadores que permitan la incorporación de oxígeno, por lo que se caracteriza por tener un consumo eléctrico elevado. Un ejemplo de este proceso es el de lodos activados, el cual utiliza primeramente un reactor aeróbico y luego un clarificador (Flores, 2020). La Tabla 3-7 describe otros ejemplos de procesos aeróbicos. Finalmente, la ecuación que gobierna estos sistemas es la siguiente:



- **Proceso anaeróbico:** Mecanismo de remoción de materia orgánica mediante reacciones bioquímicas que generan biogás (CH_4 , CO_2 , H_2S o H_2). El proceso ocurre dentro de reactores con microorganismos, los cuales pueden estar tanto en la zona líquida, formando flóculos, como también adheridos en soportes sólidos. Estos compuestos gestionados correctamente pueden generar energía. Es necesario destacar que la puesta en marcha es delicada debido a la necesidad de esperar por el crecimiento de los microorganismos anaeróbicos (Flores, 2020). La ecuación que gobierna estos sistemas es:



Ambos procesos permiten remover la materia orgánica, con la diferencia de que el proceso aeróbico requiere energía para el funcionamiento del sistema de oxigenación, genera más lodo que el proceso anaeróbico, y estos deben ser tratados posteriormente. El proceso anaeróbico genera lodos estabilizados, y es posible utilizar el biogás obtenido por el proceso de degradación para producir energía en forma de calor o electricidad, pero la calidad del efluente tratado es menor que en el caso de los lodos activados (Flores, 2020).

Tabla 3-7: Tratamiento secundarios aeróbicos (Godoy, 2021)

Tratamiento	Descripción
Lodos Activados	Tratamiento en el que se somete las aguas residuales a una aireación para reducir el contenido de materia orgánica formándose un lodo floculante

Lagunas Aireadas	Lagunas profundas en las que se oxigenan las aguas
Reactores biológicos de membrana (MBR)	Sistema en los que el agua pasa por un biorreactor en el que una suspensión concentrada de microorganismos degrada los contaminantes presentes en el agua, los cuales posteriormente son retenidos en un sistema de membranas
Humedales Artificiales	Sistema de depuración de agua compuesto por vegetación, un medio de soporte filtrante. La presencia de microorganismos y la acción de la vegetación permiten depurar el agua eliminando gran cantidad de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fosforo y en algunos casos productos químicos tóxicos

3.7.3 TRATAMIENTO TERCIARIO

Los tratamientos terciarios se refieren a procesos más específicos que se utilizan en casos donde los tratamientos anteriores no alcancen la calidad de agua requerida, la Tabla 3-8 describe algunos ejemplos de tratamientos terciarios.

Tabla 3-8: Tratamiento terciarios (Godoy, 2021)

Tratamiento	Descripción
Adsorción en carbón activo	Remueve iones, en particular As, con alta eficiencia, y plaguicidas mediante la adsorción.
Intercambio iónico	Remueve con gran eficiencia iones en concentraciones pequeñas mediante mecanismos de adsorción por resinas.
Cloración	Proceso de desinfección de agua residual mediante hipoclorito.
Luz ultravioleta	Remoción de bacterias por daño en sus genes usando rayos UV.
Filtración por cartucho	Remoción por exclusión de bacterias y partículas sólidas.

Tratamiento	Descripción
Nanofiltración	Remoción de sustancias orgánicas, micro contaminantes, algunos iones multivalentes, entre otros, mediante la exclusión por membrana.
Microfiltración y Ultrafiltración	Remoción por exclusión de microorganismos para ambos y partículas/plaguicidas respectivamente.

3.8 GUÍAS INTERNACIONALES

En esta sección se describen 3 guías internacionales de reutilización de aguas grises, a continuación se entrega un breve resumen de ellas:

1. "Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater" de la Organización Mundial de la Salud (OMS): Esta guía proporciona información detallada sobre la reutilización segura de aguas grises, así como de otros tipos de aguas residuales. Incluye información sobre los riesgos para la salud, la evaluación del riesgo y las medidas de gestión necesarias para garantizar la seguridad del uso de aguas grises.
2. "Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA): Esta guía se centra en la reutilización de aguas residuales municipales, incluidas las aguas grises. Proporciona información sobre los beneficios, los desafíos y las mejores prácticas para la reutilización de aguas grises, y también incluye estudios de casos de proyectos exitosos.
3. "Guidelines for the Use of Greywater and Wastewater in Agriculture" de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): Esta guía se enfoca específicamente en el uso de aguas grises y aguas residuales en la agricultura. Proporciona información sobre los requisitos de calidad del agua, las técnicas de tratamiento y los sistemas de riego adecuados para la reutilización de aguas grises en la agricultura.

En general la totalidad de los aspectos relevantes mencionados en estas guías internacionales son rescatados por la normativa nacional, ya sea en el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises (Ministerio de Salud, 2021) o en la Ley 21.075 (Ministerio de Obras Públicas, 2018).

3.8.1 Organización Mundial de la Salud

La guía "Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater" de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) proporciona una serie de recomendaciones y directrices para garantizar la seguridad de la reutilización de aguas grises. Estas recomendaciones incluyen:

- **Tratamiento:** Las aguas grises deben ser tratadas antes de su reutilización para eliminar los contaminantes y reducir el riesgo de transmisión de enfermedades. El tipo de tratamiento necesario dependerá de la calidad del agua y del uso previsto.
- **Uso:** Las aguas grises tratadas deben ser utilizadas únicamente para fines no potables, como el riego de jardines, la limpieza de vehículos o la descarga de inodoros. No deben ser utilizadas para el consumo humano directo.
- **Calidad del agua:** La calidad del agua tratada debe ser evaluada y monitoreada regularmente utilizando parámetros de calidad del agua específicos para asegurar su seguridad y calidad. Estos parámetros incluyen la presencia de coliformes fecales, salmonella, metales pesados y otros contaminantes.
- **Gestión del riesgo:** Se deben implementar medidas de gestión del riesgo adecuadas para garantizar la seguridad de la reutilización de aguas grises. Estas medidas pueden incluir la implementación de barreras físicas, la capacitación de los usuarios y la implementación de un plan de monitoreo y evaluación.

La guía también proporciona información detallada sobre los beneficios y desafíos de la reutilización de aguas grises, así como sobre las técnicas de tratamiento y los sistemas de riego adecuados. En este contexto en la Tabla 3-9 se presentan algunos parámetros de calidad del agua según la normativa de cada país para aguas grises, de estos valores se desprende que entre países no hay un consenso definitivo en cuánto a que parámetros se deben utilizar para la caracterización o los valores de éstos, al comparar con la Tabla 3-3, Tabla 3-4 y Tabla 3-5 esto también se puede evidenciar, dado que hay parámetros como el cloro libre residual que no se consideran en la Tabla 3-9.

Tabla 3-9: Concentraciones de algunos parámetros de calidad del agua para aguas grises no tratadas o tratadas primariamente (OMS, 2013)

País/Parámetro	DBO₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	N Total (mg/l)	NH₄ (mg/l)	Kjeldahl N (mg/l)	P Total (mg/l)	Coliformes fecales (UFC/100 ml)
Canadá	149	366	162	11,5	1,7	11,3	1,4	6,2
Noruega	88	277	-	8,8	3,8	4,9	1,0	4-6
Estados Unidos	178	456	45	-	-	15,9	4,4	6,2
Suecia	250	520	-	13,6	-	-	5,2	-

País/Parámetro	DBO₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	N Total (mg/l)	NH₄ (mg/l)	Kjeldahl N (mg/l)	P Total (mg/l)	Coliformes fecales (UFC/100 ml)
Australia	160	-	115		5,3	12	8	5,2
Alemania	73- 142	-	-	8,7- 13,1	2,5	-	6,8- 9,2	4-6
Malasia	128	212	75	37	12,6	22,2	2,4	5,8

3.8.2 Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos

El informe "Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater" (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2012) se centra en el potencial de la reutilización del agua residual municipal para ampliar la oferta de agua en los Estados Unidos. El informe fue publicado por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC, por sus siglas en inglés) en 2012 y se basa en una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible y en la experiencia de los expertos en el campo.

El informe proporciona una visión general del problema de la escasez de agua en los Estados Unidos y de la importancia de la reutilización del agua residual municipal como una posible solución. También se discuten los beneficios y los desafíos de la reutilización del agua residual municipal, incluyendo los beneficios potenciales para la salud pública y el medio ambiente, así como las preocupaciones sobre la calidad del agua y la aceptabilidad social.

El segundo capítulo proporciona una perspectiva general de la reutilización del agua, incluyendo una definición de la reutilización del agua y una descripción de los distintos tipos de reutilización del agua, como la reutilización directa y la reutilización indirecta. También se discuten las diferentes formas de tratamiento del agua y los sistemas de distribución utilizados en la reutilización del agua.

El tercer capítulo se centra en la calidad del agua y los riesgos para la salud asociados con la reutilización del agua. Se discuten los diversos contaminantes que pueden estar presentes en el agua residual municipal, como los microorganismos, los productos químicos y los contaminantes emergentes, y se analizan los riesgos para la salud asociados con la exposición a estos contaminantes. También se describen las tecnologías de tratamiento utilizadas para eliminar los contaminantes y reducir los riesgos para la salud.

El informe también analiza los beneficios y desafíos de la reutilización del agua. Se discuten los beneficios potenciales de la reutilización del agua, como la conservación de agua dulce, la reducción de la carga sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales y la seguridad de suministro de agua. También se describen los desafíos asociados con la reutilización del agua, como los costos de inversión y operación, la complejidad de los sistemas de tratamiento y distribución y la aceptabilidad social.

Finalmente, las principales conclusiones que ofrece el informe son:

- La reutilización del agua es una estrategia viable para expandir el suministro de agua de una nación, especialmente en regiones con escasez de agua. El agua residual tratada de las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales puede ser reutilizada para usos no potables, como el riego de cultivos, el paisajismo y la recarga de acuíferos.
- La reutilización del agua puede proporcionar una fuente de agua más segura y fiable que las fuentes de agua superficiales tradicionales, que están sujetas a la contaminación y la variabilidad del clima.
- Los beneficios económicos de la reutilización del agua son significativos, ya que puede reducir los costos de tratamiento de aguas residuales y proporcionar una fuente alternativa de agua para la industria, la agricultura y otros usos no potables.
- La reutilización del agua también puede tener beneficios ambientales, ya que reduce la demanda de agua dulce y reduce la descarga de aguas residuales en los cuerpos de agua.
- Para lograr la máxima eficacia y seguridad en la reutilización del agua, se requiere un enfoque integral que incluya la tecnología adecuada de tratamiento de aguas residuales, el monitoreo y la evaluación de la calidad del agua, la gestión adecuada de los riesgos para la salud y el medio ambiente, y la participación activa de las partes interesadas y la comunidad.
- Las barreras a la reutilización del agua incluyen la falta de políticas y regulaciones claras, la falta de infraestructura y tecnología adecuadas, y la falta de conciencia pública sobre los beneficios y la seguridad de la reutilización del agua.
- Es importante que se tomen medidas para abordar estas barreras y promover la reutilización del agua como una estrategia importante para expandir el suministro de agua y abordar los desafíos relacionados con el agua en todo el mundo.

3.8.3 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura

La guía "Guidelines for the Use of Greywater and Wastewater in Agriculture" (FAO, 1992) proporciona una visión general de la importancia de la reutilización del agua en la agricultura, así como una descripción de los objetivos y alcance de la guía. Además de una descripción detallada de las diferentes categorías de aguas residuales utilizadas en la agricultura, incluyendo aguas negras, aguas grises y aguas de lluvia recogidas en superficies no impermeables. Además, se proporcionan definiciones de términos clave relacionados con la reutilización del agua, como la

carga de contaminantes y los límites de calidad del agua. Principalmente la guía se centra en los siguientes aspectos:

- Enfatizar que la reutilización de aguas grises en la agricultura puede ser una fuente valiosa de agua para riego y puede contribuir a la seguridad alimentaria. Sin embargo, la seguridad de los alimentos y la salud humana y ambiental deben ser consideradas cuidadosamente antes de su uso.
- Mencionar que las aguas grises utilizadas en la agricultura pueden contener microorganismos, patógenos, metales pesados y productos químicos tóxicos, que pueden representar un riesgo para la salud humana y animal.
- Proporcionar recomendaciones para la calidad del agua y el uso seguro de aguas grises en la agricultura, incluyendo la necesidad de un tratamiento adecuado antes de su uso, la selección adecuada de cultivos, la evaluación de riesgos y la implementación de medidas de mitigación de riesgos.
- Proporcionar recomendaciones para la gestión segura del riego con aguas grises, incluyendo la necesidad de evitar la exposición directa de los trabajadores y de la comunidad, el control de la calidad del agua y la implementación de buenas prácticas de higiene.
- La gestión adecuada del uso de aguas grises en la agricultura es esencial para minimizar los riesgos para la salud y el medio ambiente, y debe ser apoyada por políticas y regulaciones claras, así como por la capacitación y el fortalecimiento de la capacidad de las partes interesadas.
- Las guías reconocen que la reutilización de aguas grises en la agricultura puede ser una fuente importante de agua para riego, especialmente en regiones con escasez de agua, pero también destacan la necesidad de considerar cuidadosamente los riesgos y los beneficios antes de su uso.

4.CASO DE REUTILIZACIÓN EN LA REGIÓN: ESTUDIO ESCUELAS Y HOGARES (REGIÓN DE COQUIMBO)

El estudio “Water Balance Assessment in Schools and Households of Rural Areas of Coquimbo Region, North-Central Chile: Potential for Greywater Reuse” (Rodríguez, 2020) realizado por académicos de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) recopiló datos de hábitos de consumo de agua en 9 escuelas de la región de Coquimbo de distintos sectores como muestra la Figura 4-1, en la cual se aprecia una menor cantidad de precipitaciones en el norte de la región, dichas precipitaciones aumentan levemente hacia el sur.

De las 9 escuelas presentadas en la Figura 4-1, 2 se encuentran en la provincia de Elqui (Escuela Dr José Luis Arraño y Colegio Carlos Condell), 6 en la provincia de Limarí (Escuela Samo Alto, Escuela El Guindo, Escuela Pedro de Valdivia, Colegio Alejandro Chelén, Escuela Teresita de Los Andes y Politécnico de Ovalle) y sólo 1 en la provincia de Choapa (Escuela Teresa Cannon)

Las categorías de interés del estudio de la PUC fueron: uso del inodoro y lavamanos. También se realizaron encuestas a miembros de las familias de dichas escuelas, recopilando información de los hábitos de consumo de agua en las categorías de: baño (tina y lavamanos), inodoro, cocina (lavado de platos, preparación de comida, consumo para beber), lavado de ropa y jardinería.

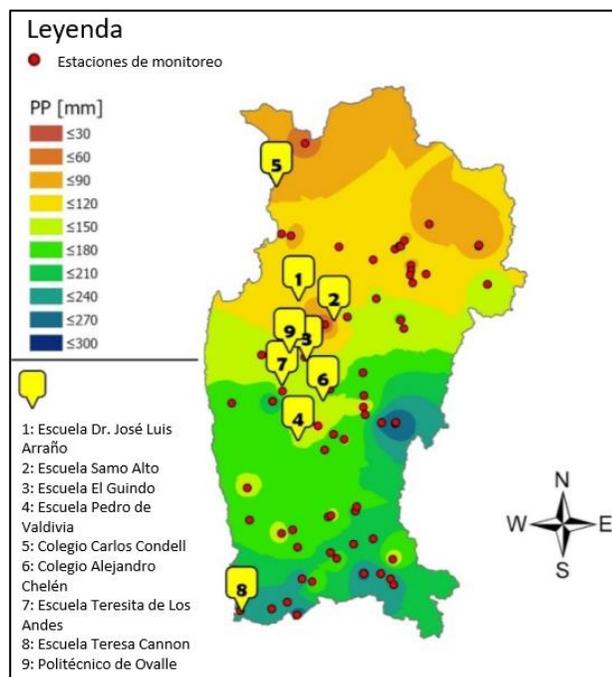


Figura 4-1: Mapa de isoyetas de la Región de Coquimbo junto a las escuelas del estudio. Traducido de: (Rodríguez, 2020)

La Tabla 4-1 resume los rangos de aguas grises generadas en escuelas y hogares y los ahorros económicos potenciales asociados con el precio del agua ahorrada, los valores originalmente están en dólares, pero se realizó el cambio a peso chileno. Los rangos son los valores máximos y mínimos del estudio, que están relacionados con el tamaño de la escuela y de la familia.

La Tabla 4-1 también presenta posibles sistemas de reutilización de aguas grises que se sugieren en el paper, dichos sistemas se recopilan de otras investigaciones. Algunos de estos sistemas de tratamiento de aguas grises presentan análisis de costos. Los rangos de potencial ahorro y de costos presentan una variación del orden de millones de pesos, la investigación reconoce esto y señala que el sistema de tratamiento adecuado en cada caso dependerá de la normativa de cada país y de los usos que se vayan a dar a las aguas grises tratadas (Rodríguez et. al., 2020).

Tabla 4-1: Resumen del análisis de costos de diferentes tecnologías de tratamiento aplicables a escuelas y hogares. Traducido de (Rodríguez et. al., 2020)

Estructura	Rango de ahorro de agua por escuela / hogar por día en litros por día (lpd)*	Potencial ahorro económico (\$/año)	Sistema de tratamiento	Rango de Costos Estimados para el Tratamiento de Aguas Grises
Escuelas	504 – 24.261	196.000 – 9.410.000	Tecnologías de tratamiento primario, secundario y terciario	Capital: \$1.257.000 Operación y Mantenimiento: \$144.000/año
			Sistemas de filtración mediante carbón activo y zeolita	Capital: \$1.734.000 – \$3.858.000
Hogares	274 – 2.743	108.000 – 1.070.000	Tanque séptico–Anaeróbico–Aeróbico	Capital: \$2.254.000 Mantenimiento: \$40.800/año
			Filtro de arena intermitente	Capital: \$607.000

*Calculado a partir del total de aguas grises generadas y el rango de miembros de cada escuela/hogar

El estudio deja como antecedente la encuesta que realizaron en las escuelas y hogares, con la cual se pudo estimar las aguas grises generadas en ambos espacios de estudio. Además se preguntó por hábitos de reuso de agua, lo que ayuda a tener una visión general de la situación en la Región con respecto a la escasez de agua.

Uno de los resultados importantes obtenidos es que sobre el 50% del consumo total de agua en las escuelas viene del lavamanos, esta agua presenta buenos parámetros de calidad comparada con otras fuentes de aguas grises como la generada en la cocina o lavado de ropa, presentando valores de BOD (OD), sólidos suspendidos y coliformes totales que facilitan la captación y reuso mediante tratamientos simples como filtración o sistemas de tratamiento basados en procesos de coagulación/floculación (Rodríguez et al., 2020).

Otro resultado interesante del estudio realizado por la PUC con respecto a los hábitos de reutilización de aguas grises, los resultados de la encuesta realizada por (Rodríguez et al 2020), es que actualmente el 66% de los hogares encuestados manifestaron realizar prácticas de reuso. Los antecedentes revisados en el estudio de Rodríguez el año 2020 sugieren que estas aguas se reutilizan para el riego de jardines y plantas, árboles frutales, huertos y limpieza de zonas exteriores de la casa, las cuales se utilizan sin ningún tipo de tratamiento y fuera de cualquier marco normativo ya que se reutilizan de manera casi inmediata (Rodríguez et. al., 2020)

Siguiendo con lo mencionado en el párrafo anterior, las principales fuentes de agua reutilizada fueron lavavajillas y lavandería, las cuales tienen peores parámetros de calidad del agua que las del baño (ducha y lavabo). Esta preferencia se debe a que la recolección de agua de lavado de platos y lavandería en la mayoría de los casos no requiere una inversión adicional en servicios de plomería, lo cual siempre será una traba para hogares que quieren reutilizar con sistemas de tratamiento de cualquier índole.

En consecuencia, tanto las escuelas como los hogares tienen un gran potencial de reutilización de aguas grises que ahorraría agua potable para las familias en general y las regiones que sufren escasez de agua en Chile en particular. Los costos asociados a los sistemas de tratamiento de aguas grises dependerán de la calidad del agua a tratar y de la calidad del agua requerida para los diferentes usos regulados en cada país.

5.SISTEMAS RECOMENDADOS POR EL MINVU

Bajo el contexto del incremento de la escasez hídrica en más de la mitad del territorio nacional y el aumento del consumo de agua potable de distintos sectores productivos durante los últimos años, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo desarrolló el Tomo III de Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile (MINVU, 2018), el cual busca colaborar con el uso eficiente y sustentable del agua potable.

El documento muestra 3 sistemas de aguas grises que se presentan brevemente en las siguientes secciones. Estos sistemas podrían considerarse como opciones a aplicar en la zona si se reúnen las condiciones necesarias. Sin embargo, su implementación podría verse perjudicada debido a:

- El documento fue emitido previo a la Ley 21.075 y el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises, por lo que puede que no esté alineado en cuanto a los requerimientos actuales.
- Complejidad técnica y costos de los sistemas.
- La mayoría de los sistemas implican grandes volúmenes de agua, por lo que son sistemas comunitarios.

5.1 PARA REUTILIZACIÓN EN CISTERNAS DE INODOROS

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo recomienda un sistema de tres etapas para la reutilización de aguas grises en cisternas de inodoros, el requisito principal es la conexión de los desagües de lavamos, tinajas, duchas y lavadoras a un depósito, donde se realizan dos tratamientos: uno físico y otro químico.

El tratamiento físico es mediante filtros que impiden el paso de partículas sólidas, mientras que el tratamiento químico es mediante cloración del agua con hipoclorito sódico (NaClO) con un dosificador automático. La Figura 5-1 muestra un esquema de las tres etapas que conforman este sistema, las cuales son explicadas en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Etapas del sistema de tratamiento para cisternas. Adaptado de (MINVU, 2018).

Etapa	Descripción
Desengrase y desarenado	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza un pre - filtrado automático en la que se separan partículas de mayor tamaño. El desengrase y desarenado se realiza por diferencia de densidad, quedando en la parte superior los aceites y grasas, y por la parte inferior, arenas y lodos. • Se realiza una purga automática para eliminar las arenas y lodos.
Degradación biológica y decantación	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza una oxidación biológica, produciéndose una descomposición de la materia orgánica gracias a la aportación de aire y a la generación de microorganismos aerobios.
Almacenaje y desinfección	<ul style="list-style-type: none"> • Se esteriliza el agua mediante un filtro (rayos UV u otro) que elimina bacterias, virus y protozoos. • Entrada de agua potable para mantener el nivel de agua en la cámara en caso de falta de entrada de agua tratada. • Se lleva a cabo la coloración y cloración del agua.

	<ul style="list-style-type: none"> • Para devolver el agua hacia las cisternas el sistema debe utilizar bombas de bajo consumo que conducen el agua desde el depósito.
--	---



Figura 5-1: Etapas del sistema de tratamiento para cisternas. (MINVU, 2018)

Para poder tratar las aguas grises es necesario que el sector disponga de dos sistemas de recogida de aguas independientes: el de las aguas grises y el resto de los desagües de la casa. Por este motivo, lo mejor para optimizar la amortización del sistema es planificar la inclusión de un sistema de aguas grises en la fase de diseño de la construcción del establecimiento (MINVU, 2018).

La “Guía de Mejores Técnicas Disponibles para la Reutilización de Aguas Grises en el Sector Gastronómico y de Alojamiento Turístico” del Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL) realiza varias recomendaciones para el uso y diseño de este sistema. Con respecto al uso, se recomienda para evitar la generación de olores que el proceso y reutilización sea inmediato, antes de haber alcanzado el estado anaeróbico, además la ubicación del depósito debe ser en zonas oscuras y frías (CPL, 2012).

Con respecto al diseño, el CPL menciona que es fundamental conocer la capacidad necesaria del depósito. En función del número de usuarios del sector, se debe calcular su tamaño, para llegar a un equilibrio entre el espacio utilizado y la capacidad del mismo, señalando que el sistema es utilizable en caudales que pueden ir desde los 300 a 10.000 l/h (CPL, 2012).

El ejemplo para el cual se evalúa el costo de este sistema es el de un alojamiento turístico de 60 habitaciones con una ocupación media del 50%, y con un consumo de agua de 250 l/huésped al día, los costos están asociados a:

El costo de un sistema diseñado para tratar un volumen de aguas grises de 1,66 m³/día de las características especificadas a continuación es de \$7.900.000:

- Fabricado en polietileno de alta densidad (PEHD).
- El diámetro nominal de las bocas de entrada y salida es de 110 mm, compatible con la salida de la arqueta de desbaste del mismo diámetro.
- Peso total de 70 kg.
- Volumen del decantador es de 100L, el del separador de 250 L y el puesto bombeo 350 L.
- Capacidad total de 700 L.

5.2 SISTEMA FILTRO JARDINERA

El filtro jardinera es un pequeño humedal artificial de flujo subterráneo, sembrado con plantas acuáticas, que permite la reutilización de las aguas grises para el riego de árboles, jardines o plantas ornamentales (MINVU, 2018).

Las etapas de este sistema se presentan en la Figura 5-2. La trampa de grasa o tratamiento primario consiste en un sistema de retención para grasas y jabones, el cual tiene dos funciones: retener las grasas y sedimentar los sólidos. La trampa de grasa protege el filtro evitando que este se tape.

El tratamiento biológico (Figura 5-2) consiste en una jardinera impermeable que cuenta con tres secciones: 2 rellenas con grava gruesa (30-50 mm de diámetro) y la parte principal con una grava de 20-30 mm de diámetro, donde se siembran plantas de pantano. El material de relleno atrapa los sólidos y provee la superficie necesaria para que se forme una capa delgada de microorganismos que se encargan de dar tratamiento al agua (biomembrana). Las plantas de pantano se nutren de los detergentes y la materia orgánica, evaporando el agua y purificándola.



Figura 5-2: Etapas del sistema de tratamiento Filtro Jardinera (MINVU, 2018).

5.3 SISTEMA FILTRO DE ACOLCHADO

El sistema consiste en dirigir el agua gris hacia zanjas rellenas de material de troncos y corteza triturada de tamaño uniforme (“acolchado”) que rodean árboles o donde se siembran plantas (ver Figura 5-3). El acolchado se degrada naturalmente por un proceso de compostaje, aumentando así la riqueza del suelo, mientras que proporciona un medio adecuado para la proliferación de los microorganismos responsables del tratamiento de las aguas grises (MINVU, 2018).

Este sistema contribuye a retener la humedad del suelo, distribuyendo de manera uniforme el agua, permite una aireación adecuada del suelo al contar con muchos espacios libres y evita la proliferación de malas hierbas. El concepto clave es separar sucesivamente el flujo principal para que solo una porción de este llegue a cada árbol o planta, de esta forma, las plantas solo reciben la cantidad de agua que necesitan (Consejo Nacional de Producción Limpia CPL, 2012).

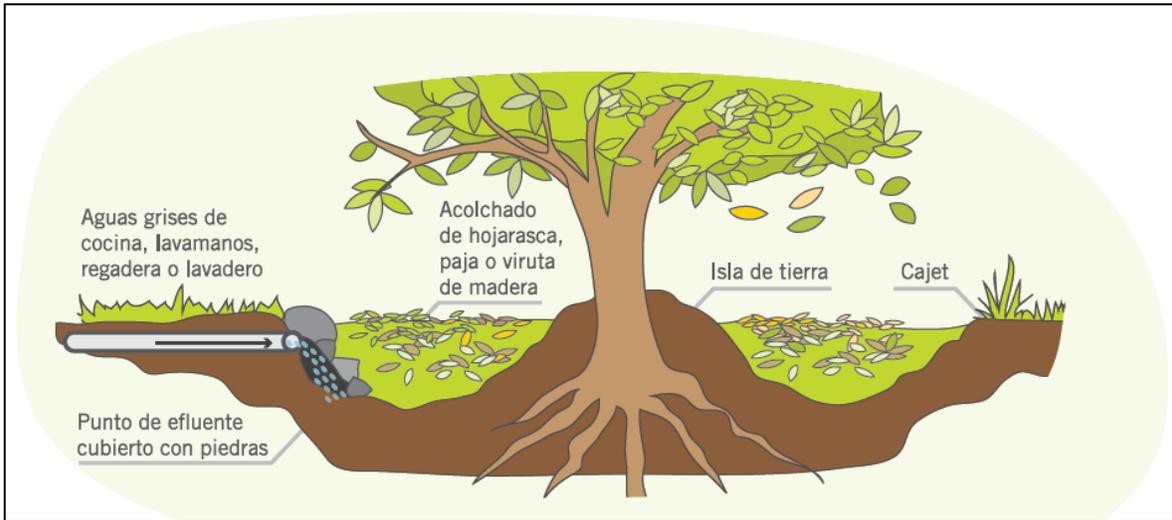


Figura 5-3: Esquema sistema filtro de acolchado (MINVU, 2018).

Se puede aplicar en cualquier servicio de alojamiento turístico que disponga de jardín con árboles o plantas ornamentales. Para calcular el diseño de estos sistemas es necesario considerar la capacidad de alojamiento del servicio (número medio de personas), su ocupación media, el consumo medio de agua o caudal y su calidad. Las aguas grises deben pasar lentamente por el sistema de filtración para que éste sea efectivo. En este sentido también es importante evitar el exceso de agua entrante, por ejemplo, originadas por un incremento del caudal de agua proveniente de aguas pluviales.

Con anterioridad a la instalación, es muy importante definir la ubicación del sistema en relación a la tubería de salida de las aguas grises de forma que se garantice que haya suficiente desnivel para que el agua fluya por gravedad. Considerar el tiempo de retención del agua gris a tratar, es decir, las horas que el agua tarda en pasar por el material filtrante, entre mayor sea el tiempo de retención, mayor será el tratamiento necesario.

La superficie de construcción del humedal depende del número de personas que vayan a conectarse al sistema. El criterio general que se establece para asegurar un buen tratamiento del humedal es que sea de 1,5 a 2 m² por persona.

Se debe evitar el uso de compuestos químicos agresivos en el humedal, tales como herbicidas, nematicidas, o plaguicidas dado que éstos se infiltrarán hasta el interior del humedal causando daños a las bacterias aerobias y anaerobias que están trabajando para depurar el agua residual.

6.ENCUESTA A LAS LOCALIDADES

Utilizando como base la encuesta realizada por (Rodríguez et. Al., 2020) se realizó una encuesta durante febrero y marzo del 2022 a 9 localidades en la provincia de Limarí, las cuales fueron:

- Cárcamo La Colonia; El Balcón Linda Vista; La Espiga y Plan de Hornos, de la comuna de Illapel.

- Cerrillos de Tamaya y Limarí, de la comuna de Ovalle.
- Huatulame de la comuna de Monte Patria.
- San Marcos y Cogotí 18 de la comuna de Combarbalá.

Esto con el objetivo de recopilar información de los hábitos de consumo hídrico (litros per cápita por día), generación de aguas grises (litros per cápita por día) y percepción general de la comunidad con respecto al reúso y concepto de aguas grises.

La encuesta se realizó de manera online a través de la plataforma de Google docs y algunas respuestas se obtuvieron de manera presencial con la ayuda de alumnos y alumnas de la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, que se encontraban en esas localidades realizando sus prácticas profesionales en los sistemas de agua potable rural, en el contexto de un programa guiado, supervisado por tutores Ingenieros Civiles.

La primera parte de la encuesta son preguntas para recopilar información del perfil de los encuestados, lo cual es una práctica usual. Se les preguntó a las personas los siguientes datos:

- Localidad a la que pertenece.
- Edad.
- Genero.
- Nivel Educativo.

El foco principal de la segunda sección de la encuesta es determinar el consumo de agua en 4 actividades principales del hogar: baño, cocina, lavado/limpieza y huerto/jardinería. Los encuestados primero debían señalar el número de personas que vivían en su hogar y luego rellenaban con una X una tabla similar a la Tabla 6-1 para determinar de qué servicio o lugar obtenían su agua para cada actividad.

Tabla 6-1: Cuadro para determinar el origen de agua en cada actividad

Origen/Actividad	Baño	Cocina	Lavado/limpieza	Huerto/jardinería
Sistema público de agua				
Agua potable rural (APR)				
Agua de pozo, noria o vertiente propia				
Camión aljibe				

Origen/Actividad	Baño	Cocina	Lavado/limpieza	Huerto/jardinería
Agua tratada o reciclada				
Canal de agua o riego				
Desconocido				

Las preguntas asociadas al uso de aguas en el ítem baño se encontraban enfocadas a ducha, lavamanos y descargas de inodoros. Para determinar los lpcd (litros per cápita por día) en cada hogar los encuestados debían seleccionar alternativas para las siguientes preguntas en la parte de baño:

- ¿Cuántas veces a la semana te duchas?
- ¿Cuántas veces al día te lavas la cara? (sin contar duchas)
- ¿Cuántas veces al día te lavas las manos? (sin contar duchas)
- ¿Cuántas veces al día te cepillas los dientes?
- ¿Cuántas veces vas al baño y tiras la cadena?
- ¿Cuántos minutos dura una ducha aproximadamente?
- ¿Cuántos segundos dejas el lavamanos abierto para lavarte la cara?
- ¿Cuántos segundos dejas el lavamanos abierto para lavarte las manos?
- ¿Cuántos segundos dejas el lavamanos abierto para lavarte los dientes?

Estas preguntas se hacen mediante el uso de alternativas para facilitar la respuesta de las personas, entregando rangos de valores en lugar de que ellos debiesen escribir una respuesta (ver Figura 6-1). El uso de alternativas se implementó en toda la encuesta para que ésta no fuese tan tediosa.

	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 o más
¿Cuántas veces a la semana te duchas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Cuántas veces al día te lavas la cara? (sin contar duchas)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Cuántas veces al día te lavas las manos? (sin contar ducha)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Cuántas veces al día te cepillas los dientes?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Cuántas veces vas al baño y tiras la cadena?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 6-1: Ejemplo de un extracto de la encuesta en Google docs.

Para la sección asociada a cocina los ejes principales son el consumo de agua para beber, el uso de agua para el lavado de alimentos y el agua para lavado de platos. Las preguntas de esta sección se listan a continuación:

- ¿Consumes agua de botella o directo de la llave?
- Si consumes agua de la llave ¿Cuántos litros diarios utilizas para beber en el hogar?
- Si consumes agua de botella ¿De cuántos litros es su recipiente (botella, bidón, otro)?
- ¿Cuántos de estos recipientes consumes al mes?
- ¿Cuántas veces al día lava los insumos para la comida?
- ¿Cuánto tiempo deja abierta la llave cada vez que lava los insumos para la comida?
- ¿Cuántos litros al día consumes en casa para cocinar?
- ¿Cuántas veces al día lava los platos?

- ¿Cuánto tiempo deja abierta la llave cada vez que lava los platos?

Al igual que la sección anterior cada pregunta era de alternativas y se daban rangos para la cantidad de litros o frecuencia de uso del agua en cada actividad.

Para la sección de lavado y limpieza se concentra exclusivamente en el lavado de ropa, separando entre lavado a mano y con máquina. Esta sección es la más difícil de caracterizar debido a que al depender del tipo de lavadora que utilice cada persona va a variar el agua gastada, información que no todos los encuestados disponían a la hora de responder. Las preguntas de esta sección fueron:

- ¿Cómo lavas la ropa? (a mano o con máquina).
- Si lava la ropa a mano, ¿Cuántos litros usas en cada lavado aproximadamente? (indicar valor)
- ¿Cuántas veces a la semana lavas la ropa a mano?
- Si lava la ropa con una lavadora, ¿Cuántas veces a la semana utiliza la lavadora?
- Si lava la ropa con lavadora. ¿De cuántos kg es su lavadora? (indicar valor)

En este caso, dos preguntas se respondían sin alternativa, que son las que se señalan arriba con “indicar valor”.

Finalmente, la sección de huerto y jardinería se agruparon los conceptos de campo, huerta, cultivo y jardín como uno solo. La sección se compone de cuatro preguntas:

- ¿Tiene su casa: campo, huerta, cultivo o jardín?
- ¿Cuántas veces a la semana riega el campo, huerta, cultivo o jardín?
- ¿Cuánto tiempo usa la manguera para regar?
- Si no utiliza la manguera, ¿De qué forma riega? Indicarlo.

La última parte de la encuesta es netamente asociada a la reutilización de agua y a diferencia de las secciones anteriores busca resultados cualitativos sobre cuantitativos, en este caso fue para detectar la percepción de la gente con el concepto de aguas grises. Las preguntas fueron las siguientes:

- ¿En cuál de las áreas ya encuestadas considera que hay un mayor déficit de agua?
- ¿Está familiarizado con el concepto de “aguas grises”?
- ¿Conoce sobre la reutilización de aguas grises? Responda solo si contestó sí en la pregunta anterior.
- ¿Reutiliza agua en alguna de estas áreas? (ver Figura 6-2).
- Si no reutiliza, ¿Reutilizaría en alguna de estas áreas? (ver Figura 6-2).

Las últimas dos preguntas daban la opción de seleccionar múltiples respuestas como se indica en la Figura 6-2.

	Baño	Cocina	Lavado/Limpieza	Huerto/Jardinería	No, en ninguna
¿Reutiliza agua en alguna de estas áreas?	<input type="checkbox"/>				
Si no reutiliza, ¿Reutilizaría en alguna de estas áreas?	<input type="checkbox"/>				

Figura 6-2: Formato para las preguntas de reutilización.

6.1 RESULTADOS DE LA ENCUESTA

6.1.1 PERFIL DE LOS ENCUESTADOS

Se obtuvo un total de 80 respuestas en las 9 localidades como se muestra en la Tabla 6-2, complementando con la Figura 6-3 se observa que el mayor porcentaje de familias encuestadas se obtuvo en la localidad de Huatulame, seguido de cerca por Cárcamo y Cogotí. De las localidades de La Espiga y Limarí no se obtuvieron resultados.

Tabla 6-2: Cantidad de encuestados por localidad

Localidad	Familias encuestadas
La Espiga	0
Limarí	0
El Balcón Linda Vista	3
San Marcos	3

Localidad	Familias encuestadas
Cerrillos de Tamaya	4
Plan de Hornos	6
Cogotí	13
Cárcamo	19
Huatulame	32
TOTAL	80

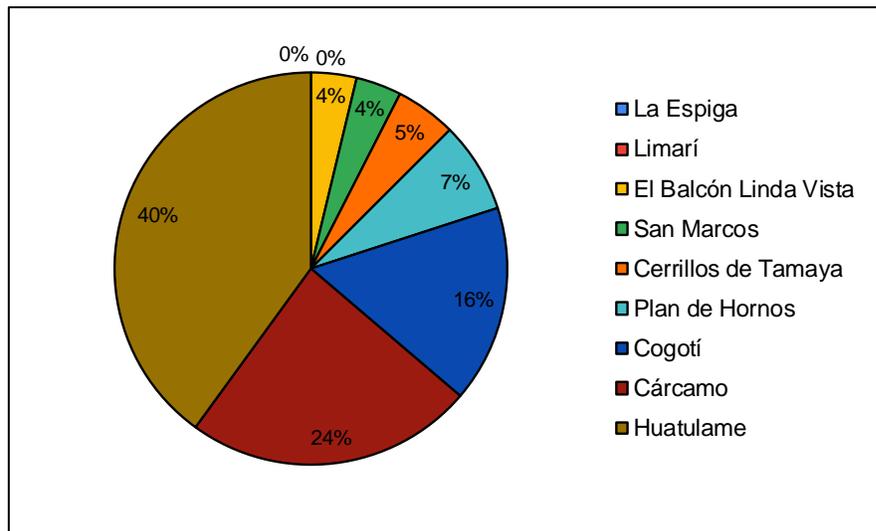


Figura 6-3: Porcentaje de encuestados por localidad.

La encuesta fue respondida por un representante de cada familia, las primeras preguntas son para definir el perfil de los encuestados en cuanto a género, edad, nivel educacional y el tamaño de la familia. La Figura 6-4 muestra que la mayoría de los encuestados (72%) corresponden al género femenino, mientras que los rangos de edades son muy variados como muestra la Figura 6-5, sin embargo, el rango con mayor cantidad de encuestados corresponde a las edades entre 35 y 40 años.

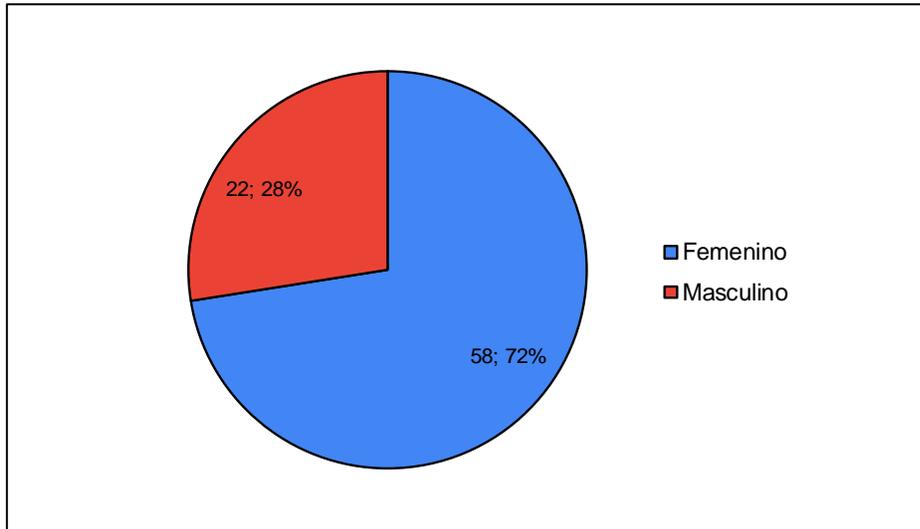


Figura 6-4: Género de los encuestados.

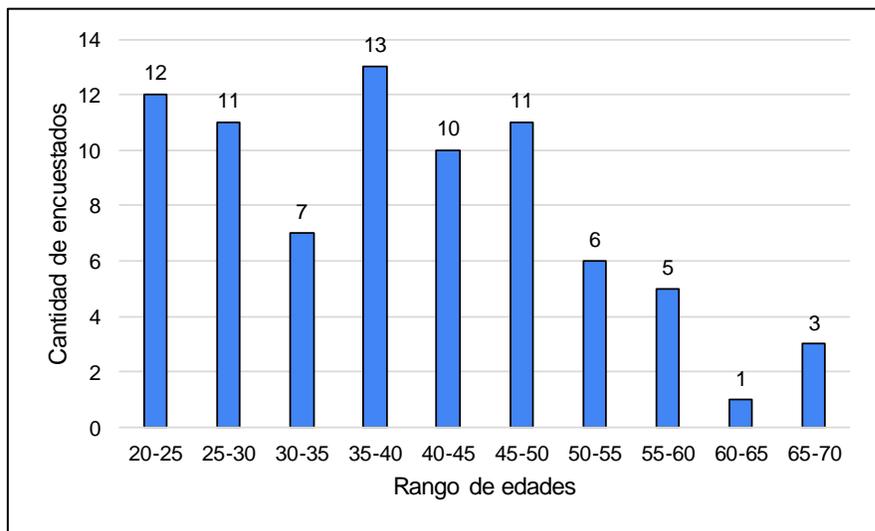


Figura 6-5: Rango de edades de los encuestados.

En cuanto al nivel educacional se presentaron 6 categorías, donde la con mayor porcentaje (38%) corresponde a educación superior completa (educación universitaria o título técnico) como muestra la Figura 6-6. La cantidad de miembros por familia de los encuestados se presenta en la Figura 6-7, donde el mayor porcentaje (36%) corresponde a familias de 4 integrantes. Finalmente en la Tabla 6-3 se presenta un resumen con los resultados de la primera parte de la encuesta.

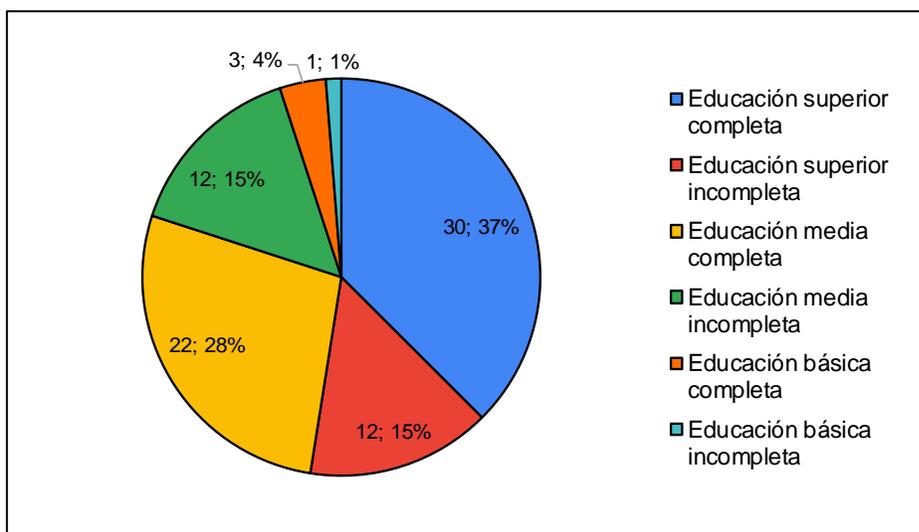


Figura 6-6: Nivel educacional de los encuestados.

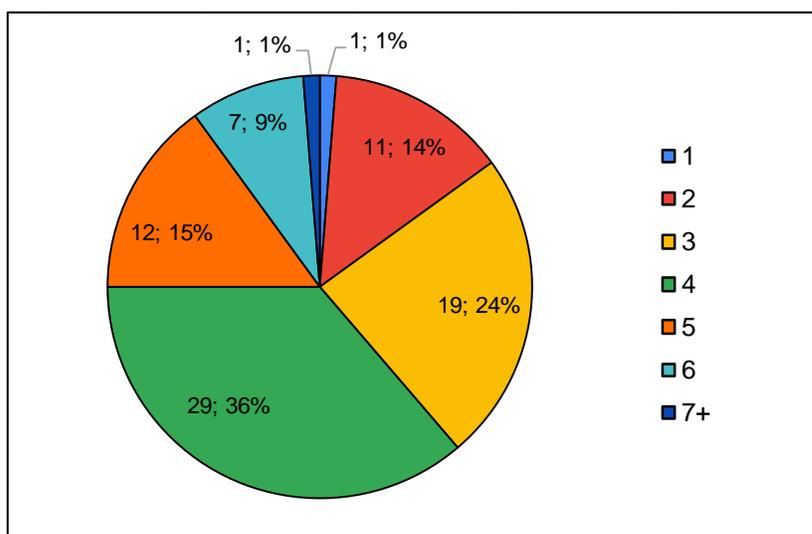


Figura 6-7: Tamaño de las familias encuestadas.

Tabla 6-3: Resumen perfil de los encuestados

Parámetro	Ítem	Data
Total de familias encuestadas	Cantidad de encuestas	80
Género del encuestado	Masculino, n(%)	22 (28%)

Parámetro	Ítem	Data
	Femenino, n(%)	58 (72%)
Edad del encuestado	Rango (promedio)	20-69 (40)
Nivel educacional del encuestado	Educación superior completa, n(%)	30
	Educación superior incompleta, n(%)	12
	Educación media completa, n(%)	22
	Educación media incompleta, n(%)	12
	Educación básica completa, n(%)	3
	Educación básica incompleta, n(%)	1
Tamaño de la familia del encuestado	Promedio	4

6.1.2 HÁBITOS DE CONSUMO

La sección de hábitos de consumo se centra en 3 ejes principales: las fuentes de agua potable que abastecen el hogar, la cantidad de agua consumida en cada actividad y la cantidad de aguas grises disponibles en cada actividad. La Figura 6-8 nos muestra el porcentaje de las distintas fuentes de origen que los encuestados tienen para realizar sus actividades, donde los sistemas de agua potable rural (APR) son los que mayor agua proporcionan según los encuestados.

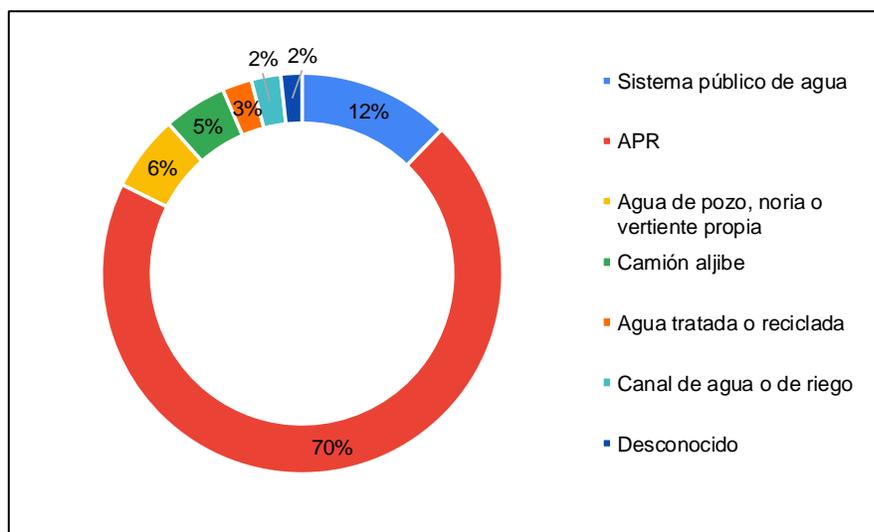


Figura 6-8: Fuentes de origen del agua.

La Tabla 6-4 muestra el valor promedio que se obtuvo de litros per cápita en el estudio, que son 101 litros. La distribución de los lpcd se presenta en la Figura 6-9, donde se aprecia que las actividades que aportan más de la mitad del agua son el baño y la cocina (41% y 26% respectivamente). Los 101 lpcd se aleja del valor obtenido en el estudio de la Universidad Católica que es de 325 lpcd (Carolina Rodríguez, 2020), en dicho estudio el baño también fue la actividad que más aportó al consumo total pero con un porcentaje igual a 72%.

Tabla 6-4: Litros per cápita por día consumidos para cada actividad

Actividad	Lpcd (litros per cápita por día)
Baño	42
Inodoro	13
Cocina	25
Lavado	8
Jardín	13
Total	101

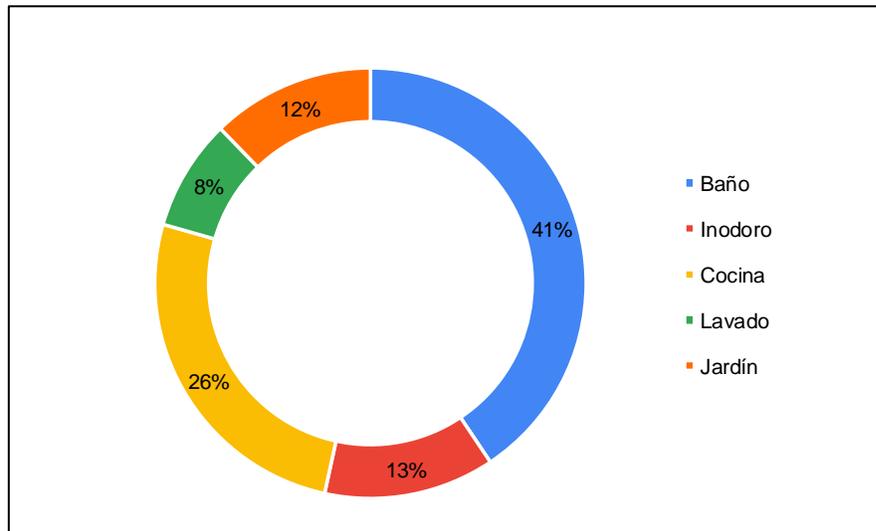


Figura 6-9: Distribución del consumo de agua por actividad.

La Tabla 6-5 muestra los litros de aguas grises generadas, siendo 74 lpcd el valor total obtenido, la distribución es similar a la del agua consumida, siendo el baño y la cocina las actividades que más aguas grises aportan (ver Figura 6-10). Para las aguas grises generadas también se obtiene un valor bastante alejado al estudio de la Universidad Católica, en dicho estudio se obtuvo 274 lpcd de aguas grises generadas (Carolina Rodríguez, 2020), sin embargo las actividades que más generaban aguas grises también fueron el baño y la cocina.

Tabla 6-5: Litros per cápita de aguas grises generadas por día

Actividad	Lpcd (litros per cápita por día)
Baño	42
Cocina	25
Lavado	8
Total	74

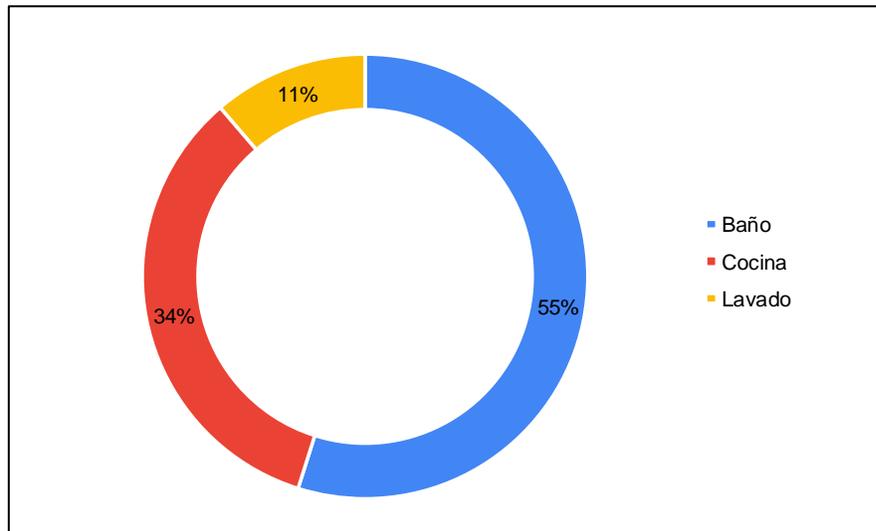


Figura 6-10: Distribución de aguas grises generadas por actividad

6.1.3 CONOCIMIENTO DE AGUAS GRISES

El tercer y último foco de la encuesta fue detectar en que actividad se percibe un mayor déficit de agua y averiguar qué tan familiarizados estaban los encuestados con el concepto de aguas grises. En la Figura 6-11 se muestra la distribución de las actividades en las que se percibe el mayor déficit de agua, siendo huerto/jardinería el área con mayor número de respuestas.

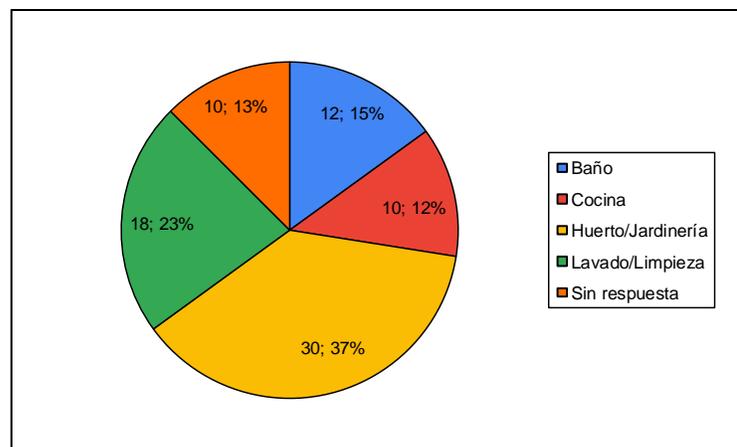


Figura 6-11: ¿En cuál área hay un mayor déficit de agua?

La

Figura 6-12 y

Figura 6-13 muestran que más de la mitad de los encuestados conocen el término aguas grises y además estarían dispuestos a reutilizar dicho recurso en alguna actividad, lo cual es consistente con los hábitos de reutilización que se presentan en la Figura 6-14, donde se aprecia que una cantidad

considerable de los encuestados reutiliza el agua en casi todas las actividades. Finalmente, la Figura 6-15 muestra la disposición a reutilizar agua en la mayoría de las actividades, sin embargo, ninguna de las actividades se muestra como la predilecta.

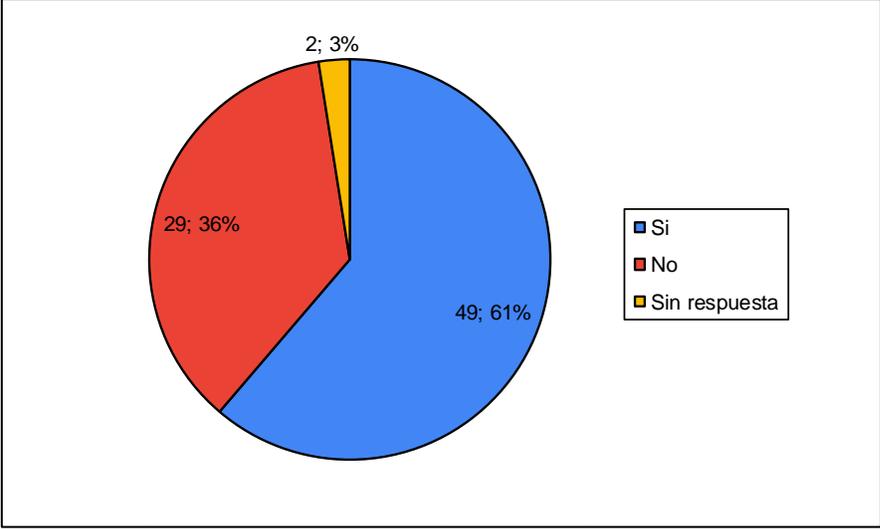


Figura 6-12: ¿Está familiarizado con el concepto de aguas grises?

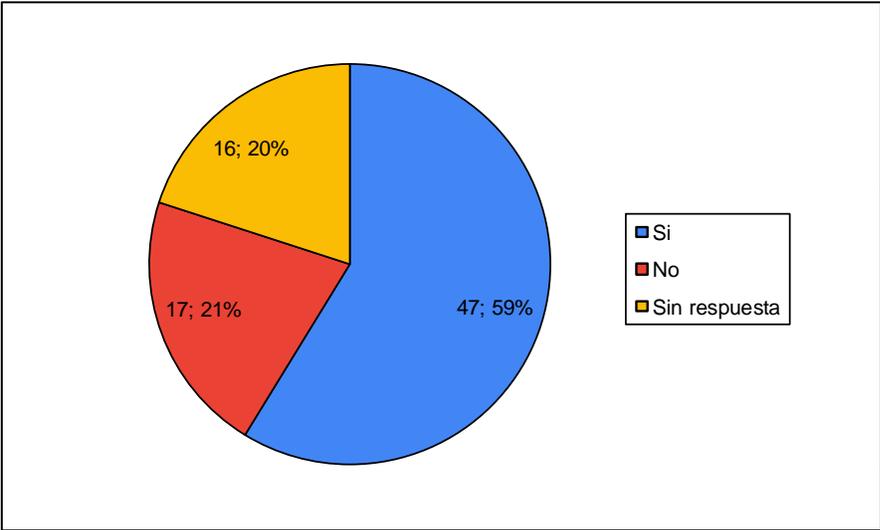


Figura 6-13: ¿Conoce sobre la reutilización de aguas grises?

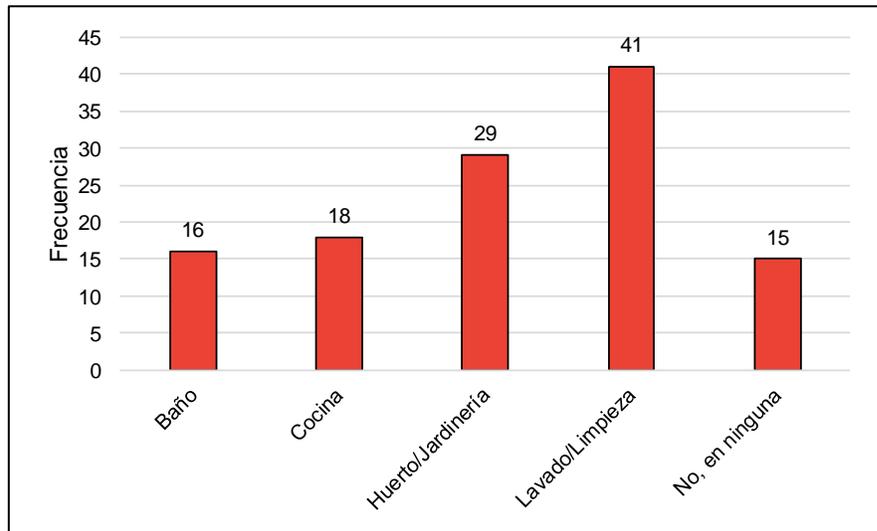


Figura 6-14: ¿Reutiliza agua en alguna de estas áreas?

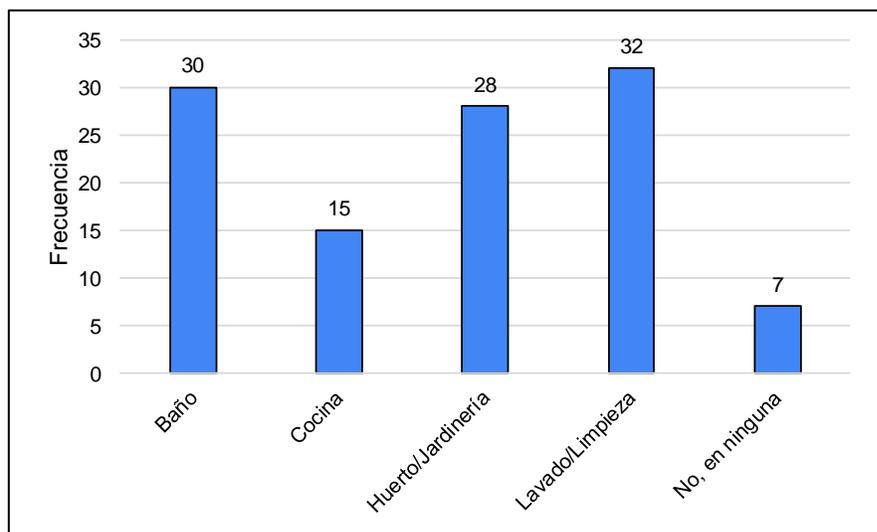


Figura 6-15: ¿Reutilizaría en alguna de estas áreas?

6.2 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA

En base a los resultados de la encuesta se obtienen las siguientes conclusiones:

- Las APR son la principal fuente de abastecimiento de agua en las comunidades encuestadas, abarcando un 70% de las respuestas.
- Las actividades que presentan un mayor consumo de agua son las de baño y cocina.
- Las actividades que generan mayor cantidad de aguas grises también son las de baño y cocina.

- Las actividades donde más se reutilizan aguas grises son las de lavado/limpieza y huerto/jardinería.
- Las actividades preferentes en las cuales se reutilizarían aguas grises son en orden decreciente: lavado/limpieza, baño y huerto/jardinería.

Con respecto a la fuente de abastecimiento los resultados son consistentes con lo esperado, dado que se entrevistaron comunidades donde se ubican APRs. Sin embargo, hay un porcentaje de entrevistados (18%) que aún se abastecen con fuentes distintas a la APR o el sistema público. En la encuesta realizada por (Rodríguez, 2020) la principal fuente de abastecimiento también fueron las APR (con un 55%) pero su porcentaje fue menor al obtenido en este trabajo debido a la selección de los entrevistados.

El baño como actividad con mayor consumo de agua es consistente con estudios nacionales e internacionales (Rodríguez, 2020) (Meléndez-Pérez et. Al., 2019) (Oron et. Al., 2014). Cabe destacar que los porcentajes varían en cada estudio. La cocina como segunda actividad que consume más agua difiere de los estudios anteriormente nombrados, siendo en estos la descarga del inodoro la actividad que ocupa el segundo lugar.

Las actividades que generan aguas grises son solo 3: baño, cocina, lavado/limpieza. Comparando con el estudio de (Rodríguez, 2020) el porcentaje de aguas grises generadas en el baño se ve reducido considerablemente, bajando de un 87% en el trabajo de Rodríguez a un 55% en éste estudio. Debido a lo anterior los porcentajes obtenidos en cocina y lavado se ven aumentados en comparación al estudio de Rodríguez.

La pregunta de las actividades donde más se reutiliza agua es probable que haya sido mal interpretada por los encuestados, esta pregunta apuntaba a indicar la actividad donde reutilizan agua, sin embargo algunos la debieron interpretar como la actividad de donde obtienen agua reutilizada. Resulta inusual que la mayoría de los encuestados utilice agua reutilizada para lavar la ropa, se estima que esta pregunta fue mal interpretada en la encuesta.

Finalmente la última pregunta “¿Reutilizaría en alguna de éstas areas?” puede que también se haya malinterpretado como: ¿de cuáles actividades obtendría el agua para reutilizar? Se piensa esto debido a que nuevamente el lavado/limpieza obtuvo la mayor preferencia, a pesar de esto los usos de baño y huerto/jardinería son los predilectos para la reutilización de aguas grises, lo que es consistente con estudios internacionales donde la descarga de inodoros y el riego de jardines son los usos de preferencia (Meléndez-Pérez et. al., 2019).

7.SISTEMA DE REUTILIZACIÓN LAVADORA-JARDÍN

Considerando las condiciones presentadas en los capítulos anteriores, como la falta de disponibilidad técnica para llevar a cabo un sistema comunitario, que la actividad en la cual actualmente se reutiliza mayor cantidad de aguas grises es la de lavado/limpieza y que dicha actividad es la que mayor interés de reutilización presenta en la comunidad, es que se propone la posibilidad de implementar el sistema “Laundry to Landscape”.

El sistema “Laundry to Landscape” (a partir de ahora L2L) o “Lavadora-Jardín” por su traducción, es un sistema que capta las aguas grises de la lavadora y las reutiliza para el riego de jardines. Es muy popular en algunas ciudades de Estados Unidos debido a su simplicidad y a que no requiere permisos para instalarse en dicho país, lo cual también podría aplicar en Chile.

El artículo 32 del Reglamento de reutilización de aguas grises permite la reutilización de aguas grises generadas en lavadoras de ropa para el riego de jardines, por lo que el sistema estaría respetando la ley vigente, además el artículo 38 del mismo reglamento excluye a los sistemas de viviendas individuales de procesos como el registro y seguimiento de la mayoría de sus parámetros, a excepción del cloro libre residual, el cual se exige medir una vez a la semana por el usuario según el Reglamento.

La Figura 7-1 muestra un esquema de cómo funciona el sistema L2L, donde la descarga de la lavadora se conecta a una válvula de desvío de 3 vías, esta válvula es la que determina si el agua sigue su curso normal o si se reutiliza para el riego de plantas. El sistema no requiere de bombas ni modificaciones al sistema de alcantarillado del hogar, razones que respaldan su simplicidad de instalación.

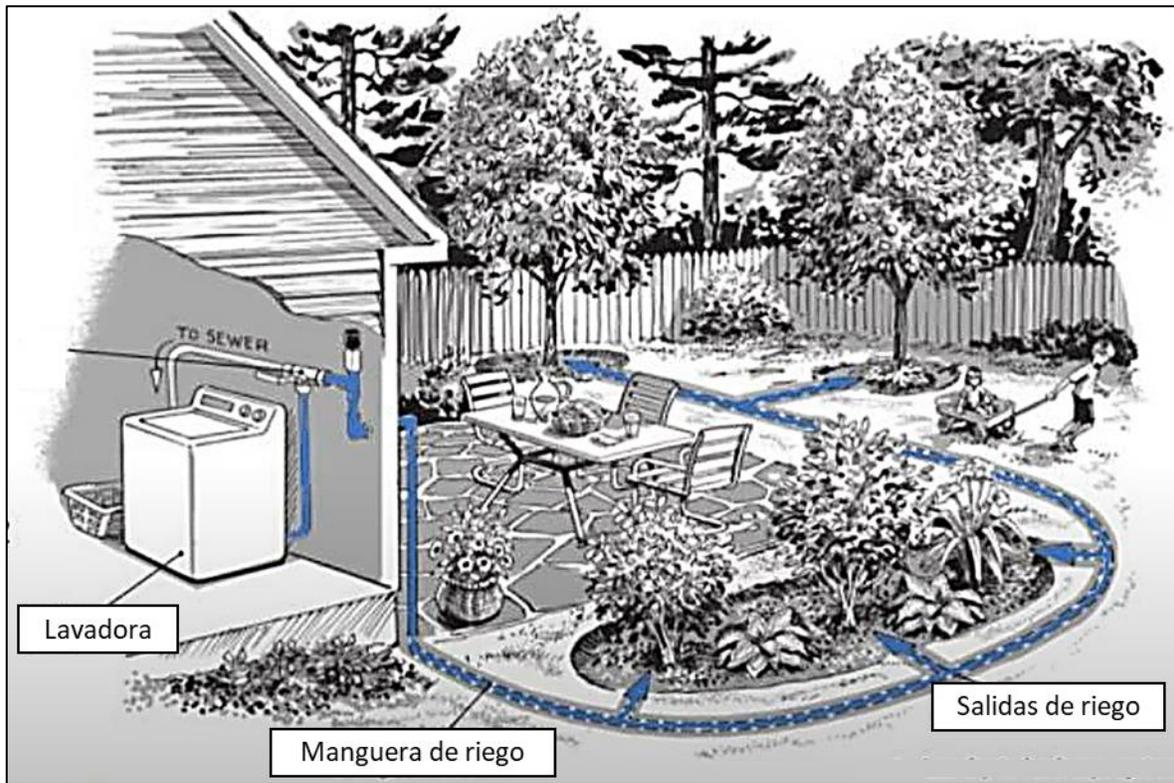


Figura 7-1: Esquema simplificado sistema “Laundry to Landscape” (adaptado de Greywater Action, 2016).

Las plantas que van a ser regadas con este sistema deben ubicarse en una cuenca poco profunda cubierta por un material descrito como “mulch” que es simplemente una mezcla de piezas de madera trituradas, paja u otros materiales orgánicos a elección. Este “mulch” actúa como un filtro para las partículas más grandes que puede traer el agua gris y también realiza una acción de esponja para retener agua.

7.1 ESQUEMA DEL SISTEMA L2L

El sistema L2L se puede dividir en 4 partes fundamentales (ver Figura 7-2), las cuales son:

1. La válvula de desvío.
2. La válvula de aireación.
3. El sistema de limpieza.
4. Las cuencas de “mulch”.

En esta sección se describirá el sistema en cuanto a sus componentes, ensamblaje y detalle de las piezas basándose en las guías entregadas por el Manual de Diseño “The Greywater Design Manual” (Greywater Action, 2016) y sus sesiones de ensamblaje (Greywater Action, 2018).

Previo a la construcción propiamente tal del sistema, se debe identificar el área que se desea regar en el jardín, usualmente esta área es la que se encuentra más cercana a la lavadora y no debe estar

a mayor altura o en una pendiente ascendente. Una vez identificada esta zona hay que ubicar los árboles deseados en ella, teniendo siempre en cuenta una ubicación óptima para éstos.

Una vez seleccionado el lugar para regar, se deberá definir cómo llevar las aguas grises a esta área. Según la ubicación de la lavadora, las opciones aumentaran, pero la más usual y la que se explica en este trabajo es sacar una tubería a través de la pared, sin embargo, el resto del esquema es independiente de la salida seleccionada. Hay que tener en cuenta que para construir un sistema seguro se debe contar con una lavadora que funcione correctamente y drene bien sus aguas. Las recomendaciones usuales para seleccionar las ubicaciones apropiadas para regar usando el sistema L2L son:

- Patios inclinados: No distribuya el agua cuesta arriba. La lavadora tiene una bomba interna, pero no está diseñada para bombear agua cuesta arriba. Si hay ligeros cambios de elevación en su jardín, pase la tubería hasta el punto más alto y baje para regar. Si su jardín tiene una pendiente cuesta abajo desde la ubicación de la lavadora, la tubería de distribución de aguas grises puede extenderse tanto como sea necesario. En pendientes pronunciadas, la tubería debe instalarse en forma de serpentina (en forma de S, como un camino de retorno) para reducir la velocidad del suministro de agua. De lo contrario, se precipitará al pie de la colina y no podrá regar las plantas superiores.
- Patios planos: para la mayoría de las máquinas, generalmente es seguro distribuir aguas grises hasta 15 m en un patio plano. Las distancias mayores podrían dañar la bomba de la lavadora, ya que las pérdidas por fricción aumentan con la distancia y ejercen más presión sobre la bomba de la lavadora.

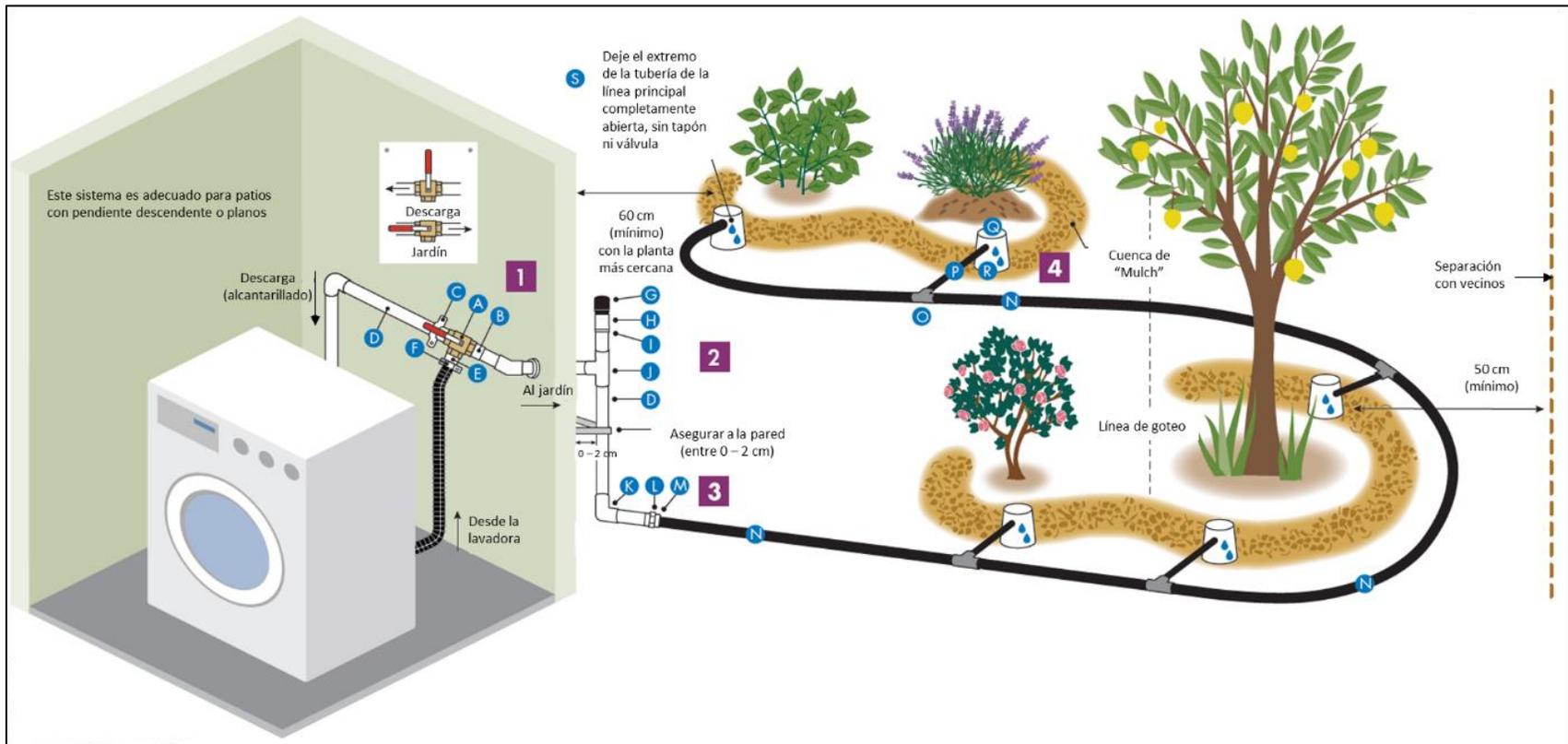


Figura 7-2: Esquema general del sistema L2L con sus 4 componentes principales (adaptado de Greywater Action, 2016)

7.2 SALIDA DE LA TUBERÍA (PARED)

A continuación se indican las especificaciones para construir las diversas partes del sistema, éstas son acorde al manual de aguas grises de San Francisco, elaborados por el grupo Greywater Action (Greywater Action, 2016).

Identifique por dónde saldrá la tubería del edificio. Inspeccione visualmente la pared en busca de posibles obstáculos; por ejemplo, un tomacorriente indica que hay cables eléctricos en la pared. Tenga cuidado de no cortar cables eléctricos, tuberías o montantes. Perfore un orificio piloto de ¼ de pulgada con una broca larga y delgada que pueda atravesar toda la pared. Asegúrese de no golpear nada en la pared. Es posible que deba probar más de una ubicación si golpea un montante u otro obstáculo.

Si la ruta de perforación está libre de cables eléctricos, tuberías y pernos, y el orificio sale en una buena ubicación en el exterior del edificio, use el orificio piloto como guía y taladre con una sierra de perforación de 1½ pulgadas para hacer un orificio lo suficientemente grande para la tubería de PVC de 1 pulgada. El tipo de broca que necesitará depende del material de la pared: use brocas para estuco en las paredes de estuco y brocas para madera en las paredes de madera. Para hacer un agujero limpio en ambos lados, perfore de afuera hacia adentro y de adentro hacia afuera. Una vez que termine de instalar su sistema, deberá sellar el orificio con un adhesivo impermeable para evitar que la humedad ingrese a la pared.

7.3 VÁLVULA DE DESVÍO

- Envuelva con teflón en sentido horario alrededor de los 2 adaptadores macho y el niple de PVC (partes B y E de la Figura 7-3).
- Inserte los adaptadores macho a ambos lados de la válvula de 3 vías (parte A de la Figura 7-3) y gírelos suavemente con la mano. Haga lo mismo con el niple de PVC, instándolo en el centro de la válvula. Gire en sentido horario con las manos lo más fuerte que pueda.
- Continúe ajustando las piezas con un alicate hasta que estén muy apretados.
- Retire la manguera de drenaje de la lavadora y coloque una abrazadera tipo cremallera sobre el extremo de la manguera (parte F de la Figura 7-3). Conecte la manguera al niple de PVC y use la abrazadera para apretar y asegurar la manguera en su lugar, haciendo un sello hermético. Una vez que el sistema esté completo, verificar el sello haciendo funcionar la máquina.

Como nota, estas instrucciones están escritas para una manguera de drenaje de ropa de 1 pulgada como muestra la Figura 7-4, que es el tamaño más común. Si la manguera es de un tamaño distinto, deberá usar un niple de PVC que se ajuste a su manguera y luego unirlo con un adaptador de PVC de 1 pulgada para conectarlo a la válvula de 3 vías.

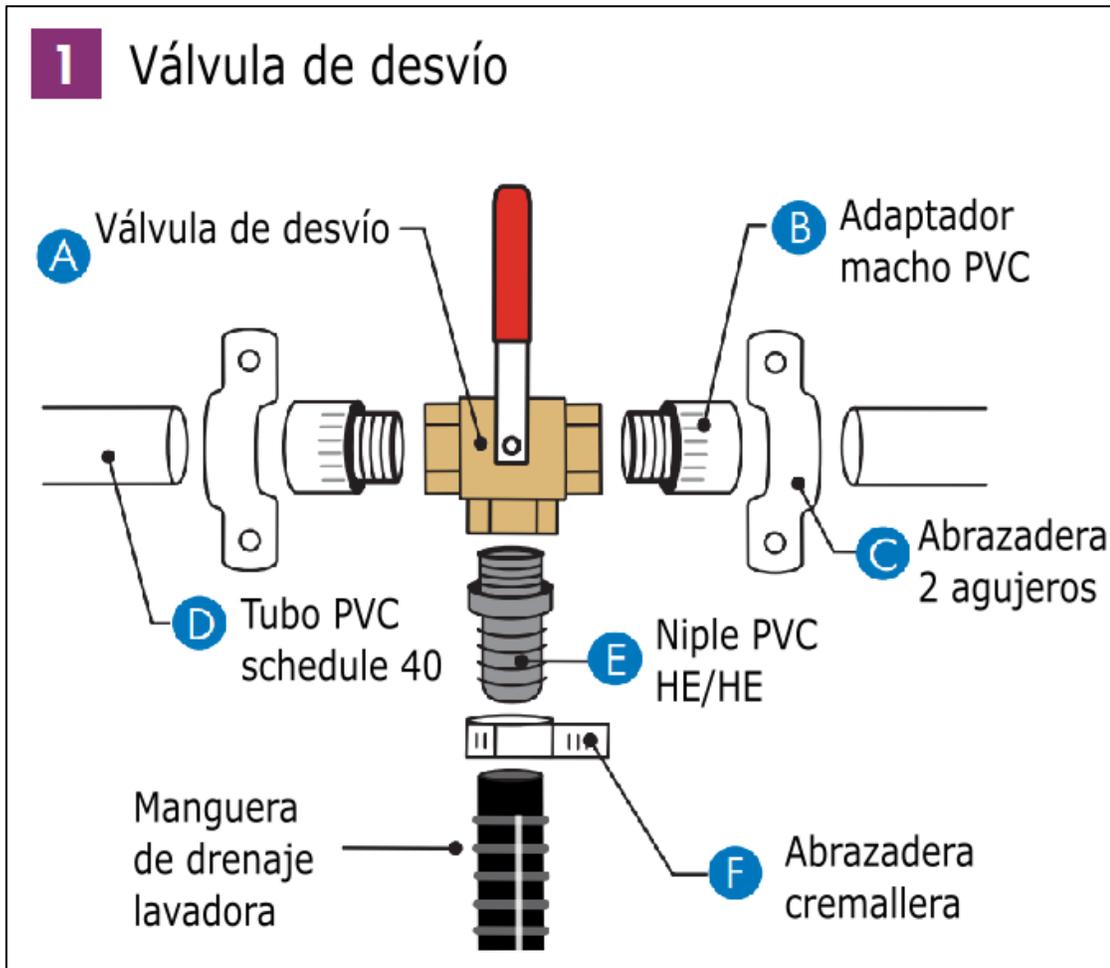


Figura 7-3: Esquema válvula de desvío y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016).

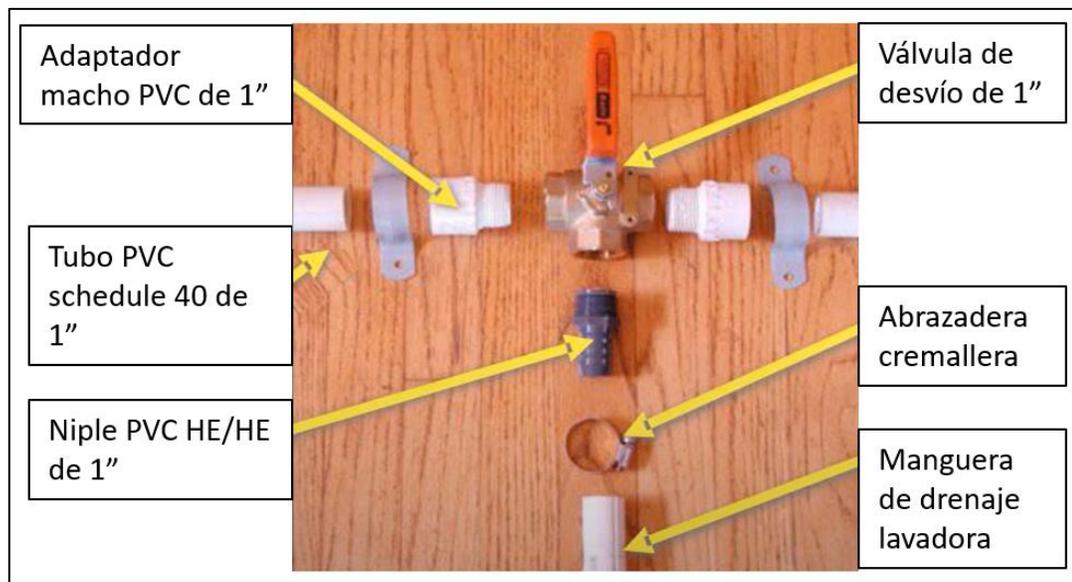


Figura 7-4: Ejemplo real de válvula de desvío y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016).

- Busque un buen lugar en la pared para montar la válvula de 3 vías, de modo que la manija pueda girar libremente y sea de fácil acceso. La válvula debe estar por encima de la lavadora como muestra la Figura 7-5.

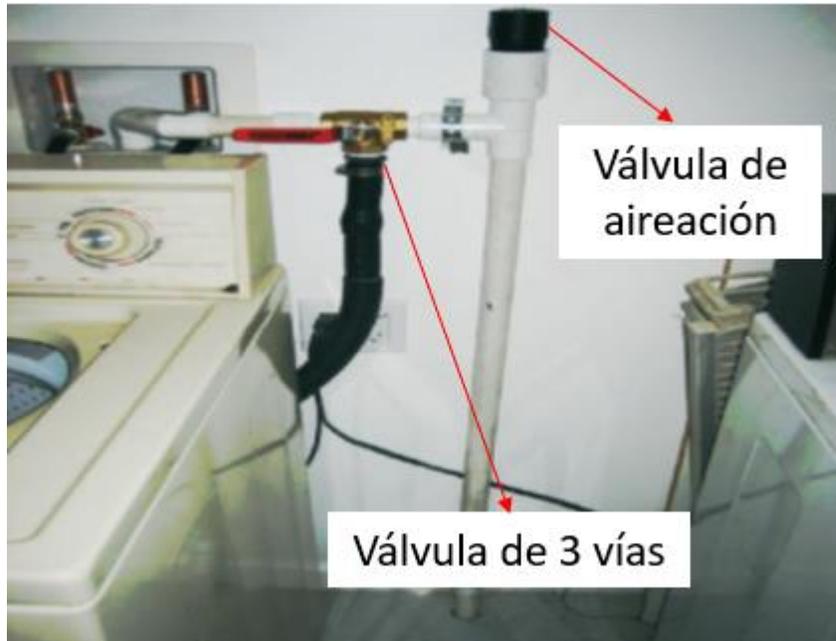


Figura 7-5: Ubicación de la válvula de 3 vías sobre la lavadora (adaptado de Greywater Action, 2016).

- Elija la ruta más directa para conectar un lado de la válvula al alcantarillado y oriente el otro lado de la válvula hacia el orificio que hizo en la pared.

7.4 VÁLVULA DE AIREACIÓN

La válvula de aireación (que se indica en la Figura 7-5) debe estar al menos 15 cm por encima de la lavadora y si es posible debe estar ubicada afuera, esto por si llegase a tener fallas o fugas, por lo mismo debe estar a la vista y ser de fácil acceso.

Para ensamblar la válvula de aireación, primero pegue el buje de reducción (parte I en la Figura 7-6) en la parte deslizante del adaptador hembra (parte H en la Figura 7-6), envuelva con teflón las roscas de la válvula de aireación (parte G de la Figura 7-6), luego ensamblar en el lado roscado del adaptador hembra y apriete.

Pegue un extremo de un trozo pequeño de tubo PVC (parte D en el esquema de la Figura 7-6) en el buje, luego pegue el otro extremo en la parte superior de la T de PVC (parte J de la Figura 7-6).

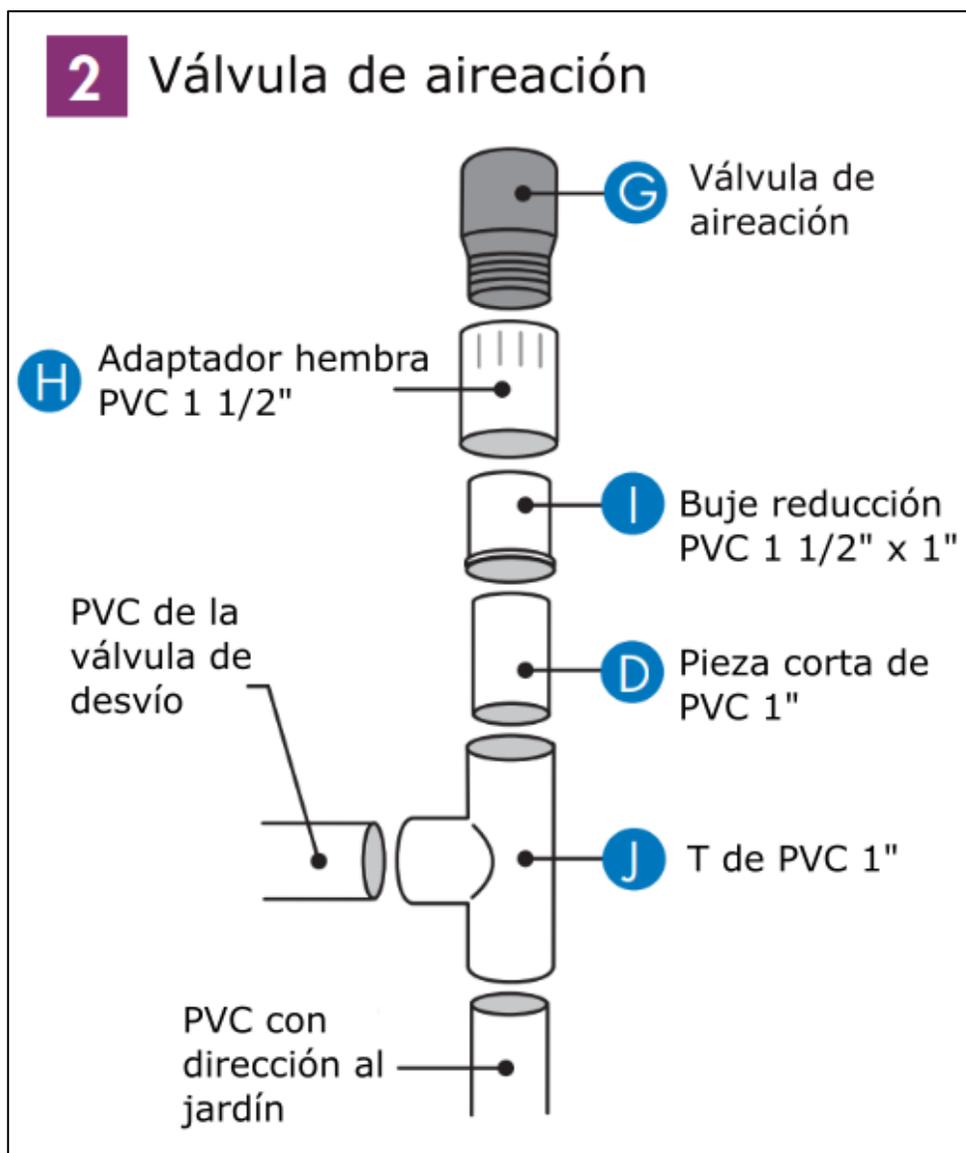


Figura 7-6: Esquema válvula de aireación y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016).

7.5 SISTEMA DE LIMPIEZA

Mida, corte y pegue un trozo de tubería de PVC para que se extienda desde la parte inferior de la T hasta el suelo (PVC con dirección al jardín que se presenta en la parte inferior de la Figura 7-6). Si hay una plataforma u otro obstáculo entre su lavadora y el área de riego, deberá pasar la tubería alrededor de los obstáculos. Trate de mantener una pendiente descendente siempre que sea posible.

Coloque un codo de PVC en la parte inferior de la sección de tubería vertical (componente K en la Figura 7-7) y dirija la tubería hacia el paisaje. Coloque el adaptador de inserción en el extremo de la tubería (parte M en la Figura 7-7), aquí es donde se conectará la tubería principal de HDPE de 1 pulgada (parte N en la Figura 7-7).

3

Sistema de limpieza

Esta parte del sistema facilita el lavado de obstrucciones

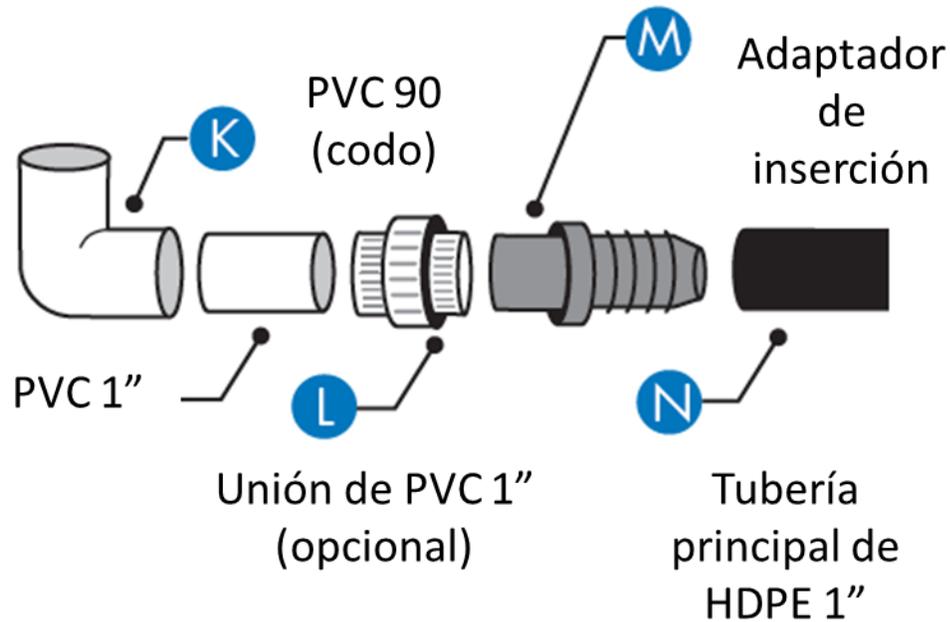


Figura 7-7: Esquema del sistema de limpieza y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016).

7.6 CUENCA DE MULCH

Se deben cavar cuencas de mulch alrededor de la línea de goteo de todas las plantas que se desean regar con aguas grises (ver

Figura 7-8). La línea de goteo es el límite exterior de la planta, donde terminan las ramas.

Las cuencas se crean quitando tierra y llenando el espacio vacío con mulch. Si no puede cavar un recipiente alrededor de toda la planta, cave un semicírculo o una zanja en un lado de la planta. Los depósitos de mantillo deben tener entre 20 y 30 cm de profundidad, según el tamaño maduro de la planta. Las plantas más pequeñas necesitan menos agua y cuencas más pequeñas.

Cave una zanja, de unos 10 cm de profundidad, desde la tubería de PVC hasta el primer depósito de mantillo (parte P de la

Figura 7-8). Continúe la zanja a todas las cuencas, tomando la ruta más directa posible y evitando giros bruscos. Si es posible, mantenga una ligera pendiente hacia abajo o al menos un nivel constante. Si el sistema tiene caídas y subidas, será más difícil obtener una distribución uniforme del agua cuando ajuste el sistema.

Construya o compre una caja de válvulas (parte R de la

Figura 7-8) para cada salida de aguas grises, estas cajas se pueden adquirir en cualquier tienda de riego, son básicamente una caja para proteger las válvulas u otros elementos de un sistema. Cubra la parte superior abierta con un adoquín o una lima (parte Q de la

Figura 7-8). Coloque cada caja en una cuenca de mulch, asegúrese de que haya al menos 10 cm de mulch debajo de la caja de válvulas. La salida de aguas grises debe entrar en el escudo al menos 5 cm por debajo de la superficie del suelo.

Distribuya la tubería principal de HDPE de 1 pulgada (parte N de la

Figura 7-8) en todas las cuencas (o en la única cuenca) fijándola en el suelo para que permanezca en su lugar. En cada punto de riego, corte la tubería e inserte una T de riego de 1 por ½ pulgadas y conecte una sección corta de tubería de polietileno de ½ pulgada (parte O y P de la

Figura 7-8) según sea necesario para llegar a cada recipiente e insértela en el protector de mantillo (Figura 7-9).

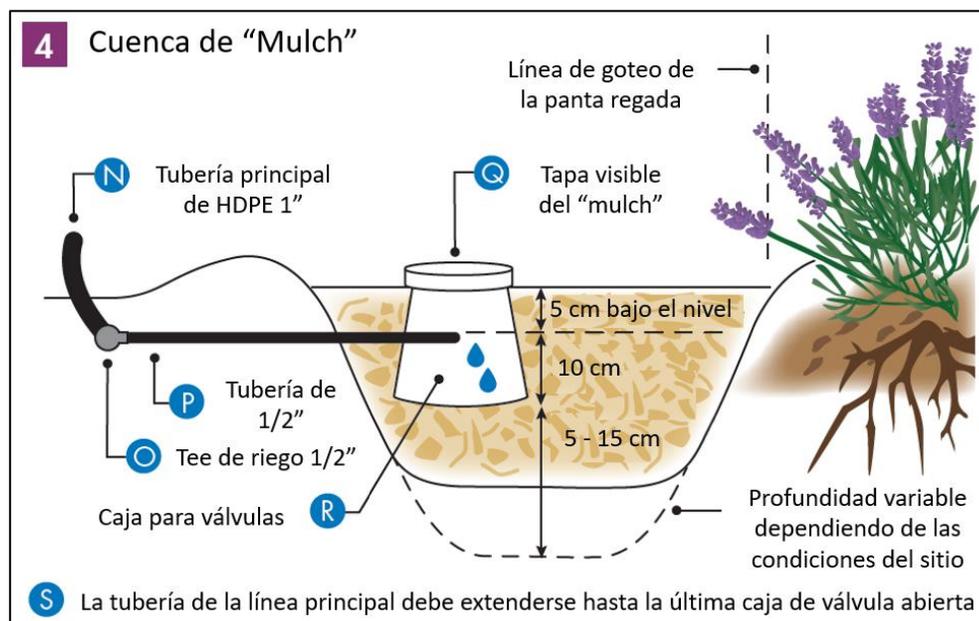


Figura 7-8: Esquema de la cuenca de mulch y sus componentes (adaptado de Greywater Action, 2016).



Figura 7-9: Parte superficial de la caja para válvulas con la tubería de ½" (adaptado de Greywater Action, 2016).

7.7 RESUMEN DE PARTES, HERRAMIENTAS Y PRESUPUESTO

A modo de resumen se presenta en la Tabla 7-1 un resumen de las partes de cada componente del sistema, donde se incluyen links a sitios web con cada parte del sistema para facilitar la cotización de éstas.

Tabla 7-1: Resumen de las partes del sistema L2L según cada componente

Componente	Letra	Parte	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Válvula de Desvío	A	Válvula de desvío	1	11.000	11.000
	B	Adaptador macho PVC	2	2.500	5.000
	C	Abrazadera	2	690	1.380
	D	Tubo PVC schedule 40	1 m	1.390/1m	1.390
	E	Niple PVC HE/HE	1	890	890
	F	Abrazadera cremallera	1	1.290	1.290
Válvula de Aireación	G	Válvula de aireación	1	19.990	19.990

Componente	Letra	Parte	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
	<u>H</u>	Adaptador hembra PVC	1	1.190	1.190
	<u>I</u>	Buje reducción PVC	1	1.090	1.090
	<u>J</u>	T de PVC	1	790	790
Sistema de Limpieza	<u>K</u>	PVC 90 (codo)	1-4	130	520
	<u>L</u>	Unión de PVC 1"	1	3.500	3.500
	<u>M</u>	Adaptador de inserción	1	5.000	5.000
	<u>N</u>	Tubería HDPE 1"	2 m	29.890/25m	29.890
Cuenca de Mulch	<u>O</u>	Tee de riego	1-4	790	3.160
	<u>P</u>	Tubería de 1/2"	1 m	11.090/25m	11.090
	<u>R</u>	Caja para válvulas	1-4	5.990	23.960
TOTAL (\$)					121.130

7.8 INDICACIONES PARA EL RIEGO

7.8.1 ¿QUÉ REGAR CON ESTE SISTEMA?

En base a los usos permitidos de aguas grises que menciona la Ley 21.075 las mejores opciones para riego con este sistema serían:

- Árboles frutales
- Arbustos.

Las opciones no recomendadas y que podrían estar prohibidas por la ley son:

- Plantas que crecen a nivel del suelo (raíces).
- Pasto.

Este sistema es de riego subsuperficial, por lo que esta alineado con lo que exige la Ley 21.075. Que tanto regar y que tipo de planta regar es algo que está fuera del alcance de este trabajo y debe ser determinado por el usuario o un experto en el área de la agricultura.

7.8.2 CANTIDAD DISPONIBLE PARA RIEGO

Para estimar la cantidad de litros de aguas grises disponibles se realiza el siguiente cálculo:

Tabla 7-2: Cálculo para determinar cantidad de árboles que se pueden regar

Litros por árbol (L)	Litros para regar un árbol toda la semana (L)	Litros disponibles considerando 3 lavados (L)	Cantidad de árboles que se podría regar todos los días
23	161	558	3

7.8.3 CONTROLES DE PARÁMETROS AL SISTEMA

Como se menciona al inicio de este capítulo, debido a que el Reglamento de reutilización de aguas grises (Ministerio de Salud, 2021) en su artículo 38 exige el seguimiento del cloro libre residual del agua, el cual debe ser medido una vez a la semana, este acápite busca explicar brevemente como se podría realizar dicha medición.

A la fecha de este informe no se ha encontrado una solución (diciembre 2022) económica para los usuarios objetivo para medir este parámetro. Lo anterior se debe a que el cloro en bajas concentraciones es inestable y tiende a disminuir rápidamente, por lo que se recomienda no almacenar muestras y medir in-situ este parámetro mediante DPD (una mezcla sólida que se presenta en polvo) o aparatos digitales, ambas opciones son más costosas que el sistema en sí. La medición de los parámetros del sistema se encuentra fuera del alcance de este trabajo.

Los valores de algunos aparatos para medir cloro libre residual se encuentran en un rango desde los \$165.000 hasta los \$399.000 (Hanna Instruments, 2022).

8. CONCLUSIONES

La caracterización de los hábitos de consumo hídrico pudo realizarse de forma somera, obteniéndose respuestas en 7 de las 9 comunidades estudiadas, pero solo obteniéndose un número importante de respuestas en 3. A pesar de lo anterior se saca como aprendizaje que para estas zonas una encuesta mediante vía online es posible y quizás requiera de un mayor seguimiento y difusión en la zona, ya que si se percibe un interés por parte de la comunidad.

Como mejora específica a la encuesta, en esta se preguntó por la capacidad de la lavadora, algo más preciso y fácil de identificar hubiese sido preguntar por los L/ciclo que utiliza la máquina, que se detecta revisando la etiqueta que presentan los aparatos electrónicos hoy en día, además de ser éste un input útil para el sistema propuesto. También hubo malentendidos en la pregunta “¿Reutilizaría en alguna de éstas áreas?” que se propone redactar de forma más clara como “¿De qué áreas obtendría el agua para reutilizar?” lo que deja menos espacio a confusiones.

Los resultados de la encuesta indicaron que las actividades que presentan un mayor consumo de agua y que generan mayor cantidad de aguas grises son las de baño y cocina., mientras que las actividades donde más se reutilizan aguas grises son las de lavado/limpieza y huerto/jardinería. El sistema propuesto en este trabajo no se abastece de ninguna de las actividades que más generan aguas grises, pero al menos coincide con la actividad donde la gente más reutiliza dicho recurso.

A modo de comentario general a los sistemas revisados en la literatura, éstos generalmente están enfocados en soluciones a mayor escala, por ejemplo modificaciones al sistema de cañerías para separar las aguas negras de las grises, las cuales por su naturaleza requieren más tiempo, costo y permisos. También en estos sistemas revisados generalmente se indican precios, pero no se presenta un detalle de si los costos están asociados a operación, mantención, partes del sistema, etc. En este trabajo se optó por un sistema más simple pero detallado a nivel de usuario, el cual se presentó en el capítulo 7.

El sistema de reutilización lavadora-jardín tiene un costo aproximado de \$122.000 y permite ahorrar 558 L a la semana, lo que es suficiente agua para regar 3 árboles al día en la semana según valores referenciales de Greywater Action. Es esperable que el costo calculado aumente debido a disponibilidad de partes, herramientas y errores durante el ensamblaje. Queda a criterio del usuario, si la cantidad de agua ahorrada en función del costo del sistema es rentable como para reemplazar el agua potable de riego con este sistema.

Queda como propuesta identificar un mejor método para la toma de muestra y medición del cloro libre residual del sistema, ya que la propuesta en este trabajo no es la mejor en términos técnicos y económicos. Cabe recalcar que medir el cloro libre residual es responsabilidad del usuario y debe realizarlo de manera semanal, llevando un registro para tenerlo disponible en caso de que los organismos fiscalizadores lo requieran, esto según el artículo 40 del Reglamento Sobre Proyectos De Reutilización De Aguas Grises (Ministerio de Salud, 2021).

Hay que tener mucho cuidado a nivel país a la hora de desarrollar proyectos relacionados con el agua, debido a que hay muchas aristas involucradas. Existen diversas organizaciones en torno al

agua en el país (DGA, DOH, Ministerio de Salud, por nombrar algunas) que debe consultarse todas las implicaciones que deben cumplirse para cada proyecto.

Es importante destacar que esta es una de las tantas posibles soluciones para la escasez hídrica en zonas rurales, hay que tener en cuenta que cualquier tipo de solución, incluido el sistema propuesto en este trabajo, requiere de la participación activa de los distintos actores involucrados, dado que es un proceso iterativo con la comunidad y no una solución puntual que pueda lanzarse por sí sola.

Para cualquier solución propuesta también debe considerarse el factor costo y complejidad. El primer factor porque la idea es que un sistema sea asequible económica y físicamente o para que los costos de operación no terminen inhabilitando al sistema propiamente tal. El factor complejidad es para tener criterio a la hora de transferir tecnologías a cualquier comunidad rural, ya que probablemente estos sistemas serán operados por ellos, por lo que deben operar y ser mantenidos por personas con experiencia a nivel usuario y de fácil acceso.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Arellano Hernández, M. (2021). ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA ZONA NORTE DE CHILE Y ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS PLANES EXISTENTES.
- Carolina Rodríguez, R. S. (2020). Cost-Benefit Evaluation of Decentralized Greywater Reuse Systems in Rural Public Schools in Chile.
- Consejo Nacional de Producción Limpia CPL. (2012). Guía de Mejores Técnicas Disponibles para la Reutilización de Aguas Grises en el Sector Gastronómico y de Alojamiento Turístico.
- CPL. (2012). Guía de Mejores Técnicas Disponibles para la Reutilización de Aguas Grises en el Sector Gastronómico y de Alojamiento Turístico.
- Díaz, A. (2022). *FACTIBILIDAD TÉCNICA DE USO DE EMBALSES DE RIEGO EXISTENTES PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ZONAS RURALES EN LA PROVINCIA DE LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO.*
- Escenarios Hídricos 2030. (2018). Radiografía del agua: brecha y riesgo hídrico en Chile.
- FAO. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture.*
- Flores, T. (2020). PROPUESTA PARA EL MANEJO Y TRATAMIENTO DE AGUAS DE USO.
- Fuentes, M. O. (2013). *CONSUMO DE AGUA POR LA PLANTA DE SIETE ESPECIES.* Universidad de Chile FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS .
- Fundación Amulén. (2018). Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto.
- Fundación Chile. (2018). *Claves para la gestión de aguas residuales rurales.* Santiago.
- Godoy, J. (2021). ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE FUENTES DE AGUA EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE CHILE: POTENCIAL REÚSO DE AGUAS SERVIDAS EN EL SECTOR AGRÍCOLA Y MINERO.
- GORE. (2015). Plan estratégico para enfrentar la escasez hídrica.
- Greywater Action. (2016). *San Francisco PUC The Greywter Design Manual.*
- Greywater Action. (2018). Session 3: Design Your Own Laundry-to-Landscape System. Youtube. Obtenido de https://youtu.be/uv_J3AgDOMg
- Hanna Instruments. (2022). *Hanna Chile.* Obtenido de <https://hannachile.com/fotometro-portatil-para-cloro-libre-y-total-con-cal-check-hi97711>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2018). Síntesis de resultados Censo 2017.

- Meléndez-Pérez, J. A.-L.-O. (2019). Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 223-236.
- Ministerio de Obras Públicas. (2018). *Ley 21075 Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises*.
- Ministerio de Salud. (2021). DIFUNDE CONSULTA PÚBLICA DE REGLAMENTO SOBRE PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Informe del Estado del Medio Ambiente*.
- MINVU. (2018). Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile Tomo III Agua.
- MOP . (2011). Estrategia nacional de recursos hídricos 2012-2025.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2012). *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*. Washington, DC: The National Academies Press.
- OMS. (2013). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*.
- Oron, G. A. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: standards and prospects. *Water research*, 58, 92-101.
- Ortega-Gaucin, D. (2013). Sequía: Causas y efectos de un fenómeno global. *Research Gate*.
- Rodríguez, C. (2020). Water Balance Assessment in Schools and Households of Rural Areas of Coquimbo Region, North-Central Chile: Potential for Greywater Reuse.
- WWAP. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos Aguas residuales: El recurso desaprovechado.