

## “Reutilización y tratamiento de aguas grises con fines domicilios”

Camila Constanza Lavín Cancino <sup>1</sup>, María Elisa Neubauer R <sup>2</sup>, Claudio Correa Rogel <sup>3</sup>

### Resumen

Chile tiene por realidad la disminución de la disponibilidad hídrica, actualmente presenta un déficit de agua a lo largo de su territorio. Según estudio (2019) de World Resources Institute del Pacto Mundial de las Naciones Unidas, que involucra a 164 países, Chile se encuentra en el puesto N° 18, ubicándose en el segundo nivel denominado ‘‘Estrés hídrico alto’’, posicionándose como el primer país de América Latina en esta condición.

En este documento se propone, un sistema de reutilización y tratamiento de aguas grises, el cual tiene el fin de contribuir a la preservación y disminución de la demanda de agua potable en las viviendas, es por esto que se diseñó y evaluó las restricciones al momento de emplazar este tipo de sistema de reutilización. Se analizó los costos y beneficios utilizados al implementar dicho sistema con un retorno de 13 años, el valor de la inversión es de \$546 542, con lo que demuestra la viabilidad del sistema y se logra una reducción anual de 33% de agua, lo que contribuye al uso eficiente del recurso en sectores urbanos y rurales.

**Palabras Claves:** Aguas grises, reutilización, déficit, beneficios.

### Abstract

Chile has as a reality the decrease in water availability, currently has a water deficit throughout its territory, according to a study (2019) by the World Resources Institute of the United Nations Global Compact, which involves 164 countries, Chile is in position N° 18, placing itself in the second level called "High water stress", positioning itself as the first country in Latin America in this condition. In this document it is proposed, a system of reuse and treatment of gray water, which has the purpose of contributing to the preservation and reduction of the demand for drinking water in homes, that is why the restrictions and care were designed and evaluated when placing this type of reuse system, the costs and benefits used when implementing this system with a return of 13 years were analyzed, the associated value is \$546 542, which demonstrates the viability of the system and achieves an annual reduction of 33%, which contributes to the efficient use of the resource in urban and rural sectors.

**Keywords:** Gray water, reuse, deficit, benefits.

<sup>1</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, UCSC, Chile, [clavin@ing.ucsc.cl](mailto:clavin@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesora Guía, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, Chile, [maria.neubauer@ucsc.cl](mailto:maria.neubauer@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, Chile, [claudiocorrea@ucsc.cl](mailto:claudiocorrea@ucsc.cl)

## **1. Introducción**

Chile presenta una escasez hídrica en gran parte de su territorio, según el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), “en el 2017, la mitad de los embalses del país presentaron déficit respecto al volumen promedio histórico”, los embalses que presentan mayor déficit son aquellos que poseen la mayor capacidad de captación de agua, como son un ejemplo el embalse de Lago Laja, Laguna del Maule, Colbún y Ralco. Por su parte el informe hidrometeorológico presentado el 16/08/2022, realizado por la DGA, informa la disminución en el volumen de almacenamiento de los 25 embalses existentes. Este tuvo una caída de un 26% respecto al promedio histórico mensual de 6269 millones m<sup>3</sup>/agua, el valor promedio se calcula en base al promedio acumulado entre los años 1991 a 2020. Asimismo existen en el país 8 embalses cuyo volumen actualmente es menor al 20% respecto a su capacidad, mientras que de los 17 restantes solo el embalse Bullileo alcanza el 100% de su capacidad.

Por otro lado, se presentó también, el déficit de los ríos indicándose que “En el año 2017, de los ríos que se consideraron en el indicador, el 84% presenta déficit respecto a su caudal promedio mensual histórico” (MMA,2019), este indicador representa el promedio anual más reciente de los caudales en ríos y esteros seleccionados, comparado con el caudal promedio histórico de cada uno, se consideran 19 estaciones de monitoreo seleccionadas entre la región Coquimbo y Aysén, donde los ríos con mayor déficit son Río Biobío en Rucalhue y Río Maule en Armerillo, con el fin de identificar problemas vinculados a la escasez hídrica. El estudio “Transición hídrica: El futuro del agua en Chile”, presentado por Fundación Chile, identifica los problemas vinculados, donde el 44% obedece a fallas en la gestión del agua y su gobernanza, el 17% es provocado por el crecimiento de las actividades productivas y el sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas, un 14% por la contaminación del agua, como el uso de productos químicos en la agroindustria, un 12% en la disminución de precipitaciones de agua y nieve, el derretimiento de nieve, además del retroceso de glaciares por aumento de temperaturas.

Es por esto, y debido a la inminente escasez hídrica, que existen parámetros sugeridos en cuanto al consumo del agua por habitante, en Chile, por ejemplo, el consumo diario de agua es en promedio de 172,2 litros en 2018, en ese año se vio reflejado un crecimiento del 1% respecto del año anterior (2017), según el informe de gestión del sector sanitario de año 2020 disponible en la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), estas cifras difieren en un 58% respecto a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que sugiere un consumo máximo de 100 L diarios por persona.

Si comparamos el consumo de agua nacional con valores internacionales, podemos posicionar a Chile en el 5° puesto de los países con mayor consumo per cápita por habitante, superado por Suiza, Italia, Portugal y Francia, datos recopilados en el informe “The governance of water services in Europe”, publicado en su edición 2020, este estudio sobre la gobernanza de los servicios urbanos del agua en Europa, incorpora la situación actual de los 29 países miembros de EurEau, donde se obtuvo el consumo residencial promedio de 128 (L/día/habitante).

## 2. Marco teórico

Las aguas residuales o también llamadas aguas servidas son cualquier tipo de agua cuya calidad se ve afectada negativamente por la influencia antropogénica, estas aguas residuales se clasifican según su procedencia, ya sea del consumo humano o de procesos productivos, en aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y urbanas. Estas aguas posteriormente son descargadas a la red de alcantarillado después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste, la cual no tiene ningún valor inmediato para dicho proceso.

Por consiguiente, el estudio se centra en las aguas residuales de origen doméstico, compuestas por **Aguas Negras y Aguas Grises**.

Las Aguas Negras, son aguas residuales que contienen excretas, de acuerdo a la Ley 21075 estas provienen de los inodoros, bidets y urinarios, por lo cual, no se consideran para la reutilización debido a la presencia de material fecal, además de sustancias orgánicas y minerales que provienen de dichas materias. Las aguas negras, se forman por un 40 % de compuesto nitrogenado tales como proteínas, urea, aminoácidos y aminos, en un 10% por compuesto no nitrogenado tal como grasas, jabones, entre otros, y un 50% de carbohidratos. Estas aguas pueden provocar enfermedades causadas por virus presentes en ellas como por ejemplo: poliomielitis, hepatitis infecciosa, y bacterias.

Otras aguas que componen las aguas residuales de origen domiciliario son las Aguas Grises, de acuerdo a la Ley 21075 son aguas provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras, dependiendo de su procedencia pueden contener detergente, jabón, restos de comida, pelo u otros compuestos, en otras palabras, son aguas que tuvieron un uso ligero.

Para efectos del estudio no consideraremos las aguas grises provenientes de lavaplatos o lavavajillas para su recirculación, debido al artículo 6° del “Proyecto de Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises”, este prohíbe el uso de aguas provenientes de lavaplatos para su reutilización, cuando la finalidad del agua sea riego y en particular para uso residencial. El mismo documento, contempla en el artículo 32° el caso de viviendas particulares, estas podrán usar aguas grises para riego de jardines, solo la proveniente de lavamanos, tinas y duchas, restando la que deriva de lavadoras.

Actualmente Chile se rige por la Ley N°21.075, la cual menciona en su artículo 8, los usos autorizados previstos para las aguas grises, las que podrán ser de tipo urbano, recreativo, ornamental, industrial y ambiental. Para efectos del estudio el **destino será de uso urbano**, en esta categoría se incluye el **riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios**.

Las aguas grises son una componente de las aguas residuales que se generan a nivel domiciliario, de estas aguas vamos a reutilizar un 33% equivalente al aporte de las duchas o tinas presente en los hogares y lavamanos, esta fracción de agua se conoce como agua regenerada, ya que son aguas residuales que han sido tratadas para alcanzar los requisitos químicos, físicos y biológicos que correspondan al uso que se destinan, este concepto es equivalente al concepto de agua reciclada, según lo establecido NCh 3580.

Dentro de las técnicas de reutilización, se considerará un sistema de usuario único, el cual corresponde a un sistema de reutilización de aguas lluvias y aguas grises diseñado para un único usuario, según NCh 3580 (para la finalidad de este estudio se consideran solo las aguas grises). En cuanto a la complejidad de diseño, dependerá de la edificación a la que sirva, esta se relaciona con la propiedad del sistema, las responsabilidades de operación y la mantención de él. Por

consiguiente, este tipo de sistema de usuario único presenta una complejidad baja debido a que una única persona es dueña de la edificación y del sistema de reutilización de agua, siendo así responsable por su manipulación y mantención.

### 1.1 Reutilización de aguas residuales de uso domestico

Dentro de los beneficios de la reutilización de agua, está la disminución del uso de agua potable, debido a que Chile actualmente presenta un déficit hídrico, donde la disponibilidad de agua presente se ha reducido entre un 10% y un 37%, en comparación con hace 30 años atrás, combinado a esto el 32% de los embalses no supero el 20% de su capacidad de captación de agua, datos entregados por DGA en el informe mensual de agosto 2022, un ejemplo del problema que presenta el país es el pueblo de Potrero Grande, ubicado en la pre cordillera de Curicó, que durante principios de marzo de 2022 comenzó a racionar el agua potable debido a que su sistema hídrico no daba abasto para la población las 24 horas del día, actualmente la población recibe agua 13 horas al día, este pueblo se abastece de agua a través del sistema de APR, dependiente de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas.

Otro beneficio asociado a la reutilización de aguas grises, es la disminución de los costos asociados al recurso, debido a que en Chile los servicios de suministro de agua y saneamiento, se distinguen porque la mayoría de las empresas de abastecimiento urbano de agua son de propiedad privada o están operadas por actores privados, dentro de las cuales existen 19 empresas encargadas de abastecer en las zonas urbanas de todo el país, satisfaciendo las necesidades de 15 millones de personas las 24 horas del día, las cuales están asociadas a las ANDESS (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios), mientras que, los chilenos que habitan fuera de las zonas urbanas, son abastecidos por sistemas de Agua Potable Rural (APR), cuya instalación está a cargo del Ministerio de Obras Públicas, esto en conjunto al escenario económico actual, donde existe una inflación global en curso, de la cual, Chile no está ajeno, tomando el indicador de la inflación, correspondiente al Índice de Precios al Consumidor (IPC), el cual presenta una variación de 0,9% el mes de septiembre, registrando un alza sostenida acumulada de 10,8% en lo que va del año 2022, este impacta directamente a la alza de los costos de servicios básicos, que han mostrado un crecimiento en el valor de agua potable de 3,6%, datos aportados por el INE.

En cuanto a las tarifas de agua y saneamiento, van presentan una variabilidad significativa dependiendo de la empresa y la ubicación geográfica como lo muestra las tabla 1, siendo la más alta, a nivel de capitales regionales, la que cancelan los habitantes de Coyhaique alcanzando un valor de \$1847 m<sup>3</sup> de agua, sin embargo el organismo encargado de regular las tarifas máximas que cada empresa sanitaria puede cobrar a sus clientes, es la SISS, esta debe proponer al Ministerio de Economía dichos valores, mediante decreto de dicho Ministerio, considerando un periodo de vigencia de cinco años.

Tabla 1 - Muestra la variación de la tarifa del m<sup>3</sup> de agua en CLP, dependiendo la región del país.

Región	Valor de cargo fijo por año en CLP			% incremento en el valor
	2020	2021	2022	
Región de Antofagasta	\$ 1 104	\$ 1 187	\$ 1 260	12,4 %
Región de Arica y Parinacota	Sin Datos	\$ 990	\$ 1 070	7,5 %
Región de Atacama	\$ 800	\$ 836	\$ 899	11 %
Región de Aysén	\$ 1 512	\$ 1 690	\$ 1 847	18,1 %
Región de Coquimbo	\$ 872	\$ 945	\$ 1 004	13,1 %

Región de La Araucanía	\$ 1 257	\$ 1 377	\$ 1 572	20 %
Región de Los Lagos	\$ 782	\$ 824	\$ 922	15,2 %
Región de Los Ríos	\$ 770	\$ 819	\$ 891	13,6 %
Región de Magallanes	\$ 1 340	\$ 1 461	\$ 1 610	16,8 %
Región de Ñuble	\$ 673	\$ 714	\$ 758	11,2 %
Región de O'Higgins	\$ 673	\$ 714	\$ 758	11,2 %
Región de Tarapacá	\$ 892	\$ 990	\$ 1 070	16,6 %
Región de Valparaíso	\$ 1 231	\$ 1 328	\$ 1 426	13,7 %
Región del Biobío	\$ 673	\$ 714	\$ 758	11,2 %
Región del Maule	\$ 860	\$ 907	\$ 963	10,7 %
Región Metropolitana	\$ 683	\$ 718	\$ 789	13,4 %
Promedio	\$ 941	\$ 1 013	\$ 1 100	14,4 %

Fuente: elaboración propia, a partir de datos entregados SISS.

De la tabla 1 podemos inferir que la región de la Araucanía lidera el incremento del valor de m<sup>3</sup> alcanzando un 20% de alzas en su tarifa, y el 93% restante varía entre un 7 y 18%, el aumento del valor del m<sup>3</sup> considerando el cargo fijo reflejado en la boleta.

Para este estudio, se considera **el Artículo 9 de la Ley 21075, que prohíbe la reutilización de aguas grises tratadas** para el consumo humano y en general servicios que requieran provisión de agua potable, así como uso en piletas, piscinas, riego de frutas u 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. Existen otras restricciones que no son atingentes al estudio como, prohibición de la reutilización del agua en procesos productivos de la industria alimenticia, uso en establecimientos de salud en general, uso para cultivo acuícola de moluscos filtradores, uso del agua regenerada en fuentes o piletas ornamentales en que exista riesgo de contacto del agua con las personas o cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere riesgoso para la salud.

Complementado a estas restricciones se debe tener cuidado al momento de reutilizar las aguas, ya que podemos causar problemas en el ambiente, ecosistemas más cercano o incluso a la salud pública si no se toma con la seriedad y compromiso necesario, es por esto que tenemos que considerar los posibles riesgos en nuestro entorno, como la proximidad de plantaciones que se generen a ras de suelo cercanas al sistema de regeneración de aguas. Otro método indirecto de transferir enfermedades incorpora el contacto directo con objetos contaminados, como utensilios presentes en el jardín, asimismo, esta trasmisión puede generarse con animales silvestres, como roedores, insectos o animales domésticos próximos al sistema, es por esto, que es de suma importancia, prever que al agua almacenada no se encuentre en contacto con agentes externos que puedan alterar la calidad de esta, además, se debe tener en cuenta las necesidades y limitaciones locales al momento de evaluar la idoneidad de los sistemas de reutilización de agua específicos, se puede aplicar a los desarrollos tanto nuevos como existentes en dependencias residenciales.

## 1.2 Distribución del agua

La distribución del porcentaje de agua que se demanda dentro de los hogares, va a estar distribuida según el uso final que se le otorgue, como se observa en la Figura 1, la descarga del WC, duchas y lavadoras será de un 63%, un 35% en la cocina y solo un 2% en agua para consumo humano, datos recopilados “Estándares de construcción sustentable para viviendas, Chile” publicado por MINVU 2018.

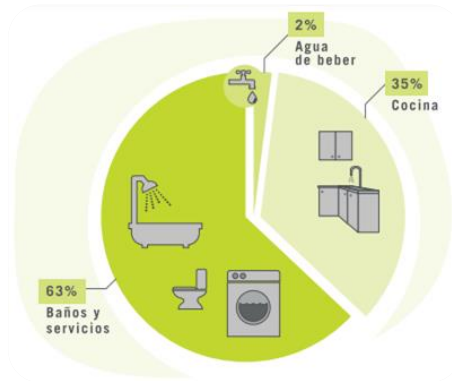


Figura 1 Muestra distribución porcentual del consumo de agua en los hogares con respecto al artefacto que se utiliza.  
 Fuente: Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile. Tomo III Agua. MINVU, 2018.

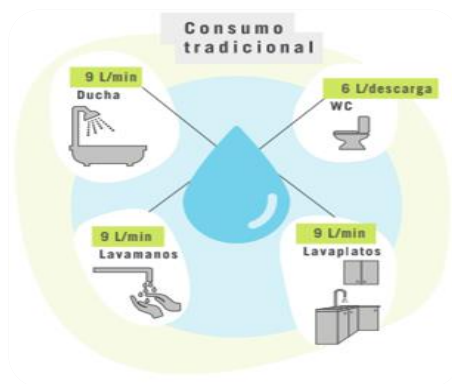


Figura 2 Consumo tradicional de agua por artefacto en los hogares, los litros por minuto consumidos por los artefactos más utilizados en los hogares.  
 Fuente: Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile. Tomo III Agua. MINVU, 2018

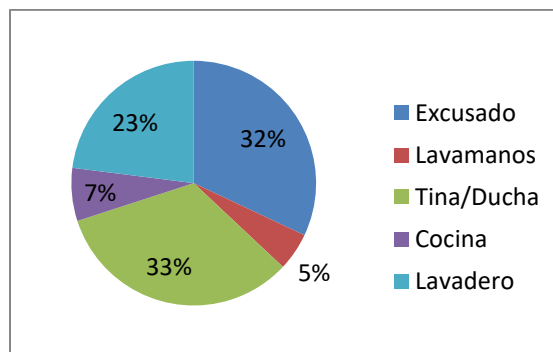


Figura 3 Cantidad de aguas residuales respecto a cada artefacto que tenemos presente en los hogares.  
 Fuente: Elaboración propia, según datos informados OMS, 2006

Los porcentajes observados en la figura 3, se le aplicarán a los valores del consumo mensual de cada hogar, que se obtiene a nivel país, a partir de la recopilación de datos correspondiente a los periodos de enero 2021 a julio 2022, representados en la Figura 4, donde se observa un consumo promedio por clientes de 17,2 m<sup>3</sup>/mes, datos recopilados por boletín de consumos julio 2022,

generado SiSS. De aquí se extraen datos orientativos de consumo mensual de agua por artefacto, en el cual incurrirá cada vivienda en Chile, estos valores promedios son de 5,5 m<sup>3</sup>/mes para excusados y 6,53 m<sup>3</sup>/mes en tinas, ducha, lavamanos.

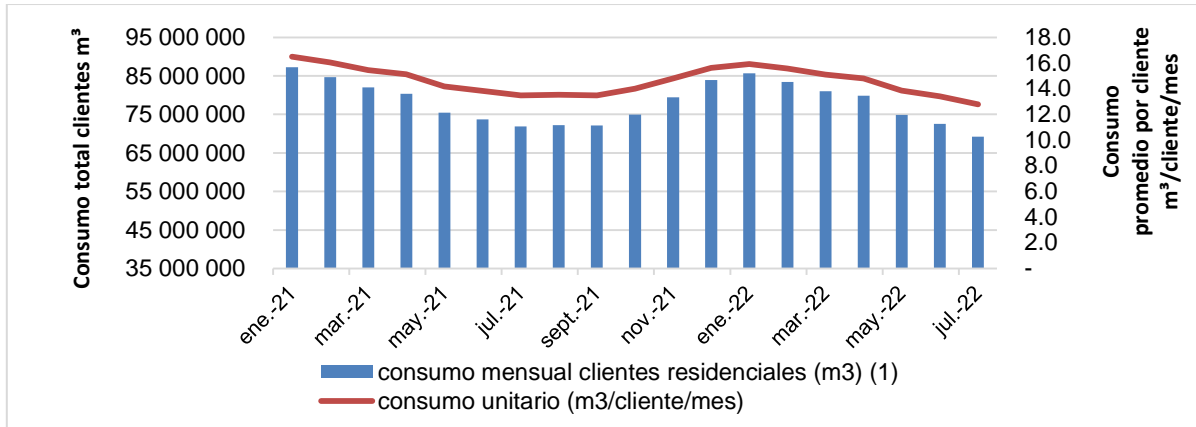


Figura 4 Muestra el consumo mensual comparado con el consumo unitario.  
 Fuente: Elaboración a partir de datos proporcionados por el SiSS, boletín consumos julio 2022.

Tabla 2 - Tipos de Contaminantes según la fuente de Aguas Grises de la cual provengan.

Fuente de agua gris	Posibles contaminantes
Lavadora	Sólidos suspendidos (suciedad, pelusa), material orgánico, aceite y grasa, cloro, sodio, nitratos y fosfatos del detergente, aumento de la salinidad y el pH.
Lavavajillas	Material orgánico y sólidos en suspensión (de los alimentos), bacterias, aumento de la salinidad y el pH, grasas, aceites y grasas, detergente.
Lavamanos y ducha	Bacterias, cabello, material orgánico y sólidos en suspensión (piel, partículas, pelusa), aceite y grasa, residuos de jabón y detergente.
Lavaplatos	Bacterias, materia orgánica y sólidos en suspensión (partículas de alimentos), residuos de grasa, aceite y grasa, jabón y detergente.

Fuente: Guía para el Uso Seguro de las Aguas Residuales, Excretas y Aguas Grises. OMS, 2006.

Tabla 3 - Presenta los datos informados por el Servicio Nacional Del Consumidor, Chile, el consumo de agua de una familia compuesta por 5 integrantes, comparando las dos estaciones más críticas de consumos de agua.

Uso	Invierno	Verano	Unidad Medida
Duchas	250	360	litros
Aseo en lavatorio	50	60	litros
Descarga en WC	300	300	litros
Preparación comida y lavado de vajilla	80	90	litros
Lavado en General	150	185	litros
Riego	5	165	litros
Total Diario	835	1150	litros por día
Total Mensual	25050	34500	litros por mes

Fuente Sernac. Servicio Nacional Del consumidor, Chile.

De la Tabla 3 podemos inferir el consumo promedio per cápita de Chile, correspondiente a 170 L/día/habitante, en periodos de invierno, por otro lado en periodo de verano, incrementa en un 35%, llegando a 230 L/día/habitante, según cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere alrededor de 100 L/día (5 ó 6 cubetas grandes) para satisfacer sus necesidades, respecto al consumo e higiene personal.

Sin embargo los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) a 2021, gran parte de las regiones de la zona Central y Sur del país doblan dicho índice, alcanzando los 160L en la región metropolitana, comuna de Santiago, mientras que la Araucanía, Villarrica, anotó 202 L y Rancagua, Machalí, la Región del libertador General Bernardo O'higgins lideran el ranking con 208 L.

### 1.3 Caracterizar las aguas grises.

Debido a la procedencia de las aguas y el uso de productos que cada individuo utiliza, presentaran distintas características en su composición física, química y parámetros microbiológicos, el resultado va a definir la calidad del agua, se consideran como valores admisibles para el país Chile se indican en la Tabla 4.

Tabla 4 - Muestra los parámetros para la calidad del agua regenerada en el uso de áreas verdes, en nuestro País debe estar de acuerdo con lo especificado en la siguiente tabla.

N°	Ítem	Unidad	Libre acceso	Acceso restringido
1	pH	-	6,0 -9,0	6,0 -9,0
2	Color	-	Sin Color	-
3	Olor	-	Sin Olor	-
4	Turbidez	NTU	$\leq 2$ (Promedio) $\leq 5$	-
5	Sólidos suspendidos totales	mg/L	$\leq 5$ (Promedio) $\leq 10$	$\leq 10$ (Promedio) $\leq 25$
6	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	$\leq 5$ (Promedio) $\leq 10$	$\leq 10$ (Promedio) $\leq 20$
7	Cloro residuales totales	mg/L	$\geq 0,2$ y $\leq 1$ en extremos de la red	$\geq 0,2$ y $\leq 1$ en extremos de la red
8	Coliformes fecales	Coliformes fecales/100ml	$\leq 10$ (percentiles 95) $\leq 100$	$\leq 200$ (percentiles 95) $\leq 1000$

Fuente, NCh 3582, reutilización de agua residual de origen doméstico.

Para caracterizar las aguas reutilizadas, consideraremos lo siguiente:

- Características físicas: pH, color, olor, turbidez.
- Características químicas: Sólidos Suspendidos, DBOs, Nitrógeno Kjeldahl.
- Parámetros microbiológicos: Coliformes fecales (Coliformes totales, Escherechia Coli.)

### **Composición químico - físico de aguas grises**

La NCh 3582, menciona que, “el agua regenerada utilizada para irrigación de jardines privados, pese a ser áreas verdes de acceso restringido, debe cumplir los requisitos establecidos para áreas verdes de libre acceso”.

“El reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises establece un valor mínimo de cloro residual total en el extremo de la red de 0,5 mg/L”, NCh3582, Reutilización de agua residual de origen doméstico.

- **Sólidos suspendidos totales:** Son generados en su mayoría en lavaplatos, ya que usualmente se vierten residuos de comida en estos, en esta categoría los valores varían entre 10 y 25 mg/L, donde los altos valores se generan en las zonas de lavandería y cocinas. La norma que regula dicho parámetro es NCh2313/3, Of 95, Aguas residuales – Métodos de análisis – Parte 3: Determinación de sólidos suspendidos totales secados a 103°C – 105°C.

- **DBO5:** Demanda Bioquímica Oxígeno es el parámetro que indica la cantidad de materia orgánica susceptible de ser descompuesta biológicamente. Este parámetro mide la concentración de oxígeno disuelto, consumida por los microorganismos después de incubación durante 5 días a 20 °C. Esta concentración se expresa en mg/litro de O<sub>2</sub>. La norma que establece los parámetros máximos es la NCh2315/5. Of 96, Aguas residuales – Métodos de análisis – Parte 5: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).

- **pH:** El pH es la medición del grado de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa, se define como el logaritmo negativo de la concentración de los iones H<sup>+</sup> que es el factor de “intensidad” o acidez. El pH también es mayor en lavadoras, lo que se puede atribuir a la alcalinidad de los detergentes. NCh2313/1, Of 95 – Aguas residuales – Métodos de análisis – Parte 1: Determinación del pH.

- **Temperatura:** se va a considerar variación de temperatura entre los 18°C y los 38°C, debido a que estas proviene de agua caliente que se emplea en el aseo personal (duchas). NCh2313/2. Of 95, aguas residuales – Métodos de análisis – Parte 2: Determinación de temperatura.

### **Parámetros Micro-Biológicos**

**Coliformes fecales:** Son diversas especies bacterianas con características bioquímicas comunes, se utilizan como indicativo de la contaminación presente en el agua. Podemos encontrar bacterias que se encuentran en el grupo de los coliformes (excluyendo E.coli), presentes en todo tipo de aguas, algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, otras tienen un origen ambiental. “El contenido de coliformes fecales en aguas de riego debe ser menor o igual a 100° coliformes fecales/100 ml.”, NCh 3582.

El agua gris presenta diferentes características, según la forma en que está fue empleada, según Tabla 5

Tabla 5 - Presenta 3 formas de uso del agua en los hogares y las características presentes posteriores a su uso.

Tipo de Uso	Características según su uso
Lava vajillas	-Altamente contaminada con partículas de comida, aceites y grasas. -Cantidades variables de coliformes. -Generalmente presenta mayor cantidad de SST que las aguas servidas. -Crecimiento de microorganismos. Descomposición rápida. Mal olor. -Contiene detergentes, blanqueadores. Espumas. -Alta demanda de oxígeno. -Usualmente se considera como agua negra.
Ducha, Tina y Lavamanos	-Generalmente corresponde al agua menos contaminada (aguas grises claras). -Ducha y tina presentan coliformes. -Puede contener orina, que es estéril en personas sanas, no obstante algunas infecciones en la vejiga pueden hacer que exista presencia de microorganismos, el potencial de éstos para sobrevivir y causar infecciones es considerado remoto. -Contiene pelos y productos de limpieza como jabón, shampoo y pasta de dientes. -Baja demanda de oxígeno.
Lavadora	-Contiene coliformes. -Contiene detergentes (sodio, fósforo, boro, amonio, nitrógeno). Espumas. -Alto pH. -Alta Salinidad -Alta cantidad de sólidos suspendidos (pelusas), alta turbiedad.

Fuente: elaboración propia, a partir de AQUA España (2016) (Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas, 2016)

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Evaluar la implementación de un sistema de reutilización de aguas grises.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros de diseño requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de reutilización de aguas grises.
- Proponer un sistema que sea de fácil manipulación, requiera la mínima mantención por el usuario.
- Valorizar el sistema de bajo costo, materiales más competentes y de fácil acceso para el usuario.

## 3. Metodología para la reutilización de las aguas

Para este estudio se consideraron las siguientes normas:

- Ley 21075, Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises, Ministerio de Obras Públicas, fecha de publicación 15/02/2018
- NCh 3580, Reutilización de aguas - Selección de sistemas de reutilización de aguas lluvias y aguas grises, fecha de publicación 26/11/2019
- NCh 3581, Reutilización de agua residual de origen doméstico - Calidad estándar del agua regenerada para el consumo municipal misceláneo de agua, fecha de publicación 30/07/2018
- NCh 3582, Reutilización de agua residual de origen doméstico - Calidad estándar del agua regenerada para irrigación de áreas verdes, fecha de publicación 30/07/2018
- NCh 3583, Reutilización de agua residual de origen doméstico - Definiciones y clasificación estándar, fecha de publicación 30/07/2018.
- NCh 1333, Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.
- NCh 3483, Directrices para la clasificación de la calidad del agua regenerada para el reúso no potable.2021

### 3.1 Área de estudio

Consideraciones en la edificación

Se consideró una vivienda con dos niveles, la cual posee tres baños, uno en el nivel principal y dos en el segundo nivel, se conducirá el suministro de aguas del interior de la edificación, la tubería de extracción y abastecimiento puede pasar a través de la envolvente de la edificación.

Posee áreas libres de construcción que sumadas proporcionan 47 m<sup>2</sup>, las cuales tiene como finalidad la jardinería, se divide en un ante jardín de 22 m<sup>2</sup> y un jardín trasero de 25 m<sup>2</sup>.

Caracterización de los ocupantes del inmueble

Los ocupantes del inmueble se caracterizan con los datos otorgados por el Censo 2017, donde el promedio de habitantes es de 3,1 integrantes por grupo familiar, para fines del estudio se va a considerar un grupo familiar de 4 individuos, que se consideran permanentes para el cálculo de intensidad de uso de los artefactos, adicionalmente se agregan 4 ocupantes transitorios, con el fin de

incorporar el efecto de eventuales visitas (ocupantes transitorios no consideran el uso de duchas, solo para efectos de utilización del WC y lavamanos).

### **3.2 Establecer los parámetros de diseño requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de reutilización de aguas grises**

#### **3.2.1 Destino de las aguas grises**

El destino de las aguas grises tratadas, será de uso urbano según lo estipulado en el artículo 8 de la Ley 21075, la descarga de las aguas tendrán por finalidad realizar el riego de jardines y descarga de urinarios.

En cuanto al riego de áreas verdes nos regiremos por NCh3582, reutilización de agua residual de origen domestico- calidad estándar de agua regenerada para irrigación de áreas verdes.

#### **3.2.2 Criterios para sistema de reutilización**

La selección de un sistema de reutilización de agua se debe seleccionar en base a los criterios siguientes:

##### a) Fuentes de agua y usos finales.

El estudio considera como fuente generadora solo las aguas aportadas por duchas, tinas y lavamanos presentes en la vivienda. Por otro lado el tipo de uso final que se propone para las aguas tratadas, será la descarga de inodoros, riego subterráneo de paisajes y descarga de inodoros con lavado incorporado, consiguiente al uso final del agua regenerada, se considerará un nivel de exposición humana bajo, según lo establecido en la NCh 3580, tabla 2.

##### b) Limitaciones físicas.

Tipos de sistemas

- Sistema 1 - Interno
- Sistema 2 - Externo en emplazamiento
- Sistema 3 - Externo fuera del emplazamiento

Se propone un **sistema 2**, el cual es un sistema externo dentro del emplazamiento. El almacenamiento y tratamiento de las aguas se encuentra externo a la edificación, pero dentro de las dependencias de la propiedad. Posee una complejidad **Baja a media**, que sirve a una única edificación.

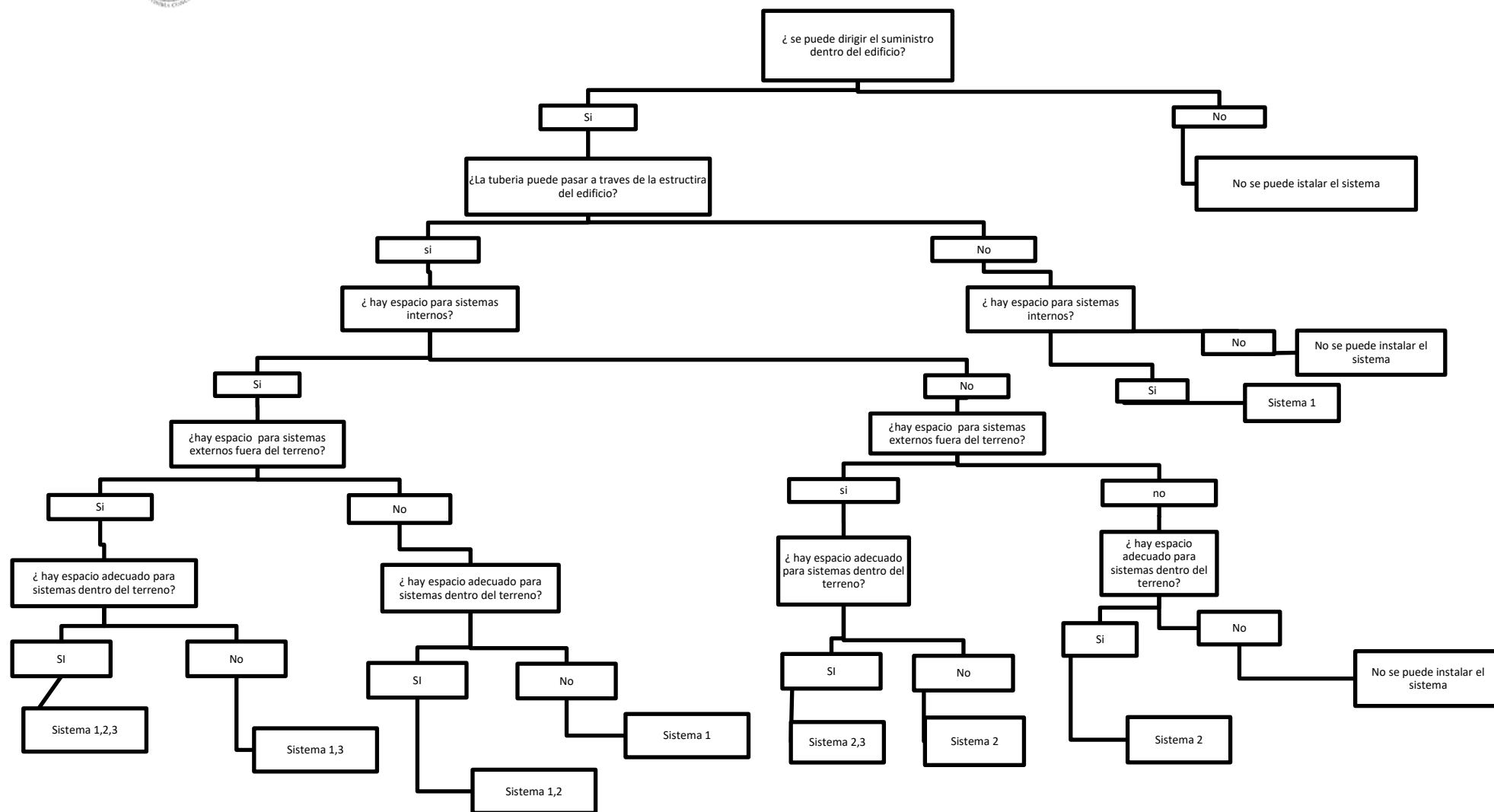


Figura 4, esquema para seleccionar el sistema más apropiado para la vivienda.  
 Fuente: Elaboración propia, a partir de NCh 3580.

## c) Balance entre oferta y la demanda.

Se entenderá la oferta y la demanda como propiedades individuales y características de cada hogar, ya que estas dependen de la ocupación, usos finales y del comportamiento del usuario, donde se estima el volumen de agua gris disponible de la fuente seleccionada para el reuso del recurso y la demanda de agua regenerada para determinar el tamaño adecuado de almacenamiento del sistema.

El enfoque del estudio es concordante para sistemas residenciales individuales o sistema de usuario único, utilizando una única fuente de agua no potable.

**Estimación oferta de agua grises.**

Cálculos complementarios: Cálculo de la oferta por uso [  $Du$  ] (litros)

$$Du = Q * t$$

$Du$ = oferta por uso en litros.

$Q$ = Caudal del artefacto en litros por minuto, para efectos del estudio se consideró  $Q=9,5$  L/min.

$t$  = Duración de utilización del artefacto, para efectos del estudio se consideró  $t=7$  min.

$$\text{Así, } Du = 9,5 \left( \frac{L}{\text{min}} \right) * 7 \text{ min} = 66,5 L$$

Así, cada integrante del grupo familiar utiliza un promedio de 66,5 L de agua al día en ducharse.

Cálculo de usos diarios por Artefacto

Uso diario por artefacto

$$N = (P * U) + (T * U)$$

$N$ = Total usos diarios del artefacto.

$P$ = Usuarios Permanentes, para efectos del estudio ocuparemos 4 integrantes en el grupo familiar.

$T$ = Usuarios Transitorios, para efectos del estudio consideraremos 4 usuarios transitorios.

$U$ =Uso Diario, para efectos del estudio consideraremos 1 uso diario.

Cálculo de oferta diaria referente al artefacto.

La oferta de agua del artefacto se calcula de la siguiente manera:  $Dda = N * Du$

$Dda$ = Oferta diaria de referencia al artefacto

$N$ = Total usos diarios del artefacto.

$Du$ = Demanda por uso en litros.

La Tabla 6 muestra los valores finales obtenidos para la oferta diaria que poseerá la ducha y lavamanos en L/día, junto con los valores de caudal, duración de uso, cantidad de usos e intensidad de usos por artefacto que se utilizarán para la realización de los cálculos.

Tabla 6 - Muestra la demanda del artefacto en relación al caudal que utiliza.

Caudales y demanda del artefacto								Intensidad de usos diarios según el perfil del usuario			
								Permanente		Transitorio	
Equipo	Caudal	Unidad	Usos	Unidad	Du L/uso	N uso/día	Dda L/día	M	F	M	F
Ducha	9,5	L/min	7	min	66,5	4	266	1	1	-	-
Lava manos	9	L/min	0,5	min	4,5	14	63	3	3	0,5	0,5

Fuente: Elaboración propia.

Por ende vamos a tener una disponibilidad de 329 L/día.

### **Demanda de agua no potable**

El cálculo de la demanda generada por los inodoros, se podrá obtener de dos formas. La primera es leer el valor de la demanda L/día presentada en la Tabla 7, la cual entrega un valor aproximado dependiendo el N° de ocupantes de la vivienda. La segunda manera es por medio del cálculo de la demanda diaria de inodoro presentada en la Tabla 8, considerando el caudal e intensidad de usos por parte de los ocupantes del inmueble (para la realización del estudio se consideran los resultados presentados en la Tabla 8).

Tabla 7 – Demanda de agua no potable diaria estimada.

Ocupación	Demanda (L/día)		
	Inodoro	Lavandería (A)	Otros usos no potables (B)
1 persona	25	15	10
2 personas	50	30	20
3 personas	75	45	30
4 personas	100	60	40
5 personas	125	75	50
6 personas	150	90	60

A) Demanda diaria promedio en base al uso semanal.  
 B) Por ejemplo, riego de jardines.  
 NOTA tomado de la norma BS 8525-1: 2010, Tabla 1.

Fuente: tabla 3- demanda de agua no potable diaria estimada NCh 3580, 2019.

Tabla 8 - Muestra la demanda del artefacto en relación al caudal que utiliza.

Caudales y demanda del artefacto								Intensidad de usos diarios según el perfil del usuario			
								Permanente		Transitorio	
Equipo	Caudal	Unidad	Uso	Unidas	Du L/uso	N uso/día	Dda L/día	M	F	M	F
Inodoro	6	L/descarga	1	descarga	6	32	192	4	5	0,3	0,7

Fuente: Elaboración propia.

La demanda de los inodoros será de 192 L/día

### Requerimiento de agua para riego del jardín

Cálculo de cantidad de agua requerida en el jardín.

Para la realización del cálculo de consumo de agua requerido para irrigación del jardín, se propone en este documento considerar que las áreas verdes están compuestas por césped y árboles, donde se deberá conocer la evapotranspiración del jardín, entre otros factores, para obtener este valor, se inicia con el cálculo del coeficiente de jardín (KL)

Cálculo del coeficiente de jardín (KL):

$$KL = K_s * K_d * K_{mc}$$

$K_s$ =Factor de Especie.

$K_d$ =Factor de Densidad.

$K_{mc}$ =Factor de Microclima.

Para la realización del cálculo del coeficiente de jardín, se detallan los datos de entrada en Tabla A.1, Tabla A.2, Tabla A.3 del Anexo A, del presente documento.

El cálculo del coeficiente de jardín se zonifica en el estudio en la región del Biobío, en la cual se considera un factor de especie “medio”, dato extraído Tabla A.3 Anexo A. Posteriormente ya conociendo el factor de especie es que se extraen los valores de  $K_s$ ,  $K_d$ ,  $K_{mc}$  de la Tabla A.2 Anexo A, obteniendo los siguientes valores:

$$KL_{\text{césped}} = 0,7 * 1 * 1 = 0,7$$

$$KL_{\text{Árbol}} = 0,5 * 1 * 1 = 0,5$$

Cantidad de agua que se pierde por Evapotranspiración (ETL).

La Evapotranspiración del proyecto se debe cuantificar el agua que se pierde en el suelo, para esto se considera la evapotranspiración local del mes más caluroso del año y el coeficiente de Paisajismo.

$$ETL \left( \frac{mm}{año} \right) = ET_0 (mm) * KL$$

Donde,

$ET_0$  = Evapotranspiración local en el mes más caluroso del año en mm. Dato presente en la Tabla A.4 Anexo A

ETL = Evapotranspiración anual.

$$ETL \left( \frac{mm}{año} \right) = 141 mm * 0,7 = 98,7 mm \quad \dots \text{Césped}$$

$$ETL \left( \frac{mm}{año} \right) = 141 mm * 0,5 = 70,5 mm \quad \dots \text{Árbol}$$

Cálculo de la necesidad anual de riego.

$$N_a = \sum N_m = \sum [ETL \left( \frac{mm}{año} \right) * P(e) \left( \frac{mm}{mes} \right)]$$

ETL: Evapotranspiración del proyecto (mm/año).

P(e): Factor de precipitación efectiva anual en la zona.

$$Na = 98,7 * 1110 = 109,557 \dots \text{Césped}$$

$$Na = 70,5 * 1110 = 78,25 \dots \text{Árbol}$$

Cálculo de Necesidades Finales de Agua.

$$NF = Na/EA$$

Donde; N= Necesidad anual de agua para riego del jardín.

EA= Eficiencia de Sistema de Riego.

Tabla 9 – Factor de eficiencia de los sistemas de riego.

Sistema de Riego	Factor de Eficiencia de los Sistemas de Riego (EA)
Riego por manguera	0,5
Aspersión (regador de impacto)	0,75
Aspersión (boquilla fija y rotores)	0,8
Aspersión (rotores MP rotador)	0,85
Microjet y micro-aspersores	0,85
Goteo	0,9

Fuente: Comisión Nacional de Riego.

$$NF = \frac{109,557}{0,5} = 219,114 \dots \text{Césped}$$

$$NF = \frac{78,25}{0,5} = 156,5 \dots \text{Árbol}$$

Así el cálculo del consumo final de agua para riego, se debemos sumar el agua total demandada por las áreas verde que se encuentren dentro de la edificación.

Donde; AD= Agua demandada.

$$AD = \sum \text{Área} * NF$$

Debemos considerar, superficie de Césped (pasto estadio) de 47 m<sup>2</sup>, sumado a esto se consideran dos árboles, de los cuales debemos calcular su área efectiva, contando el radio que inicia en el tronco del árbol hasta el final de sus raíces o la línea donde finaliza el follaje de este, a través de la siguiente formula,  $A = \pi r^2 = 7,06 \text{ m}^2$ , lo podemos ver en la siguiente figura

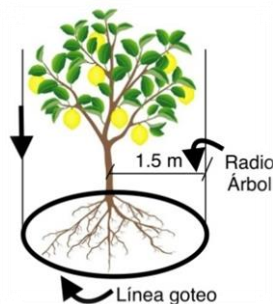


Figura 5, explicativo para cálculo de área de riego de un Árbol

Fuente: Elaboración propia

$$AD = 47m^2 * 219,114 \left(\frac{mm}{año}\right) + \left[\left(7,06m^2 * 156,6\left(\frac{mm}{año}\right)\right) * 2\right]$$

$$AD = 10298,4 + 2211,19 = 12509,5 \text{ L/año}$$

Finalmente el requerimiento mínimo del jardín es de 1042,46 L/mes, considerando que un mes tiene 30 días, vamos a conseguir un el exigencia de riego diaria, la cual corresponde a 34,748 L/día.

d) Pasos a seguir por el sistema de tratamiento.



Figura 6 – Pasos del sistema de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

## Tratamiento

Para el tratamiento de las aguas nos guiaremos por las recomendaciones descritas en la Tabla 11. Así el sistema considera un tratamiento primario que permita separar aquellas partículas provenientes de duchas y lavamanos, además de retener grasas, aceites y contaminantes, ya que estos son un sustento para el crecimiento de microorganismos. El procedimiento se llevara a cabo mediante la instalación de un filtro que tendrá por función reducir los patógenos, a medida que el agua pasa por el filtro, esté atrapa la suciedad en su interior, eliminando los sedimentos ordinarios (arcilla, óxido, arena), creando un agua más limpia y reduciendo los niveles de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas grises, proceso recomendado Tabla 11.

Posteriormente el proceso de desinfección busca inhabilitar los patógenos presentes en las aguas grises, adicionando algún producto como hipoclorito de sodio con fin de evitar la proliferación de hongos, moho, sarro o agentes orgánicos, se debe incorporar en este compuesto en dosificación de 0,33L por cada 100L de agua, con el fin de obtener una concentración de cloro residual que permita asegurar la desinfección del agua, recomendación Tabla 11.

Complementario a esto, se le debe incorporar un producto para estabilizar la alcalinidad, compuesto por carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y sales, que tienen por función equilibrar el pH en el agua que se está tratando, a través de la neutralización de los ácidos, la dosificación que se utilizara es de 8g por cada 15L.

Se instalara una bomba adicional al estanque, la cual conectara una manguera que se guiará interior de éste, con el fin de producir la oxigenación y movimiento de las aguas, para evitar malos olores y la formación de una capa viscosa, denominada capa biológica, ya que esta ofrece las condiciones de

vida ideales para bacterias y gérmenes del agua, como, por ejemplo, Pseudomonas Aeruginosa y Legionela.

Por último el almacenamiento será el espacio físico donde se acumula el agua regenerada, para el volumen se considera un único estanque de 600L con el fin de contener las aguas provenientes de la oferta diaria, y una capacidad útil 90%, equivalente a 540L, en el estanque de almacenamiento se incorpora manguera, la cual estará conectada a una bomba con el fin de airear el agua y mover el flujo, con el fin de evitar malos olores y estancamiento.

e) Evaluación y gestión de riesgos.

Se considera un nivel de exposición humana bajo, basados en la NCh3580, sin embargo se debe realizar una evaluación y gestión de riesgos que puede presentar nuestro sistema en el futuro.

Tabla 10 - Evaluación del sistema.

Evaluación del Impacto en la salud o ambiental del sistema.		
Riego	Causa	Medida de Mitigación
Proliferación de bacterias o microorganismos	Acumulación de agua en el fondo del estanque de almacenamiento.	Incorporar bomba de oxigenación en los estanques de acumulación de agua.
Realce del sistema	Mayor cantidad de agua aportante al sistema por incremento de usuarios.	Instalar un estanque de acumulación auxiliar. Realizar una conexión directa a la red de alcantarillado.
Confusión en el reconocimiento de las Tuberías	Debido al color de PVC que se emplee en el sistema de recolección, dependiendo del costo.	Utilizar PVC de color morado según normativa. Etiquetado para identificar las tuberías de suministro de agua.
Malos olores	Estancamiento de las agua.	Bomba de oxigenación en el estanque de acumulación.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11 - Los métodos de tratamiento recomendado se muestran en la siguiente tabla.

	Aguas Grises (A)
Cribado de gruesos	Recomendado
Tamizado fino	Aceptable
Flotación en aire disuelto	Recomendado
Filtración	Recomendado
Tratamiento biológico	Recomendado
Tratamiento químico	Recomendado
Desinfección	C)
C) Esta etapa se debería incluir si los usuarios finales presentan un potencial peligro para la salud	

Fuente: elaboración propia, basado NCh 3580, 2019

### 3.3 Proponer un sistema que sea de fácil manipulación, requiera la mínima mantención por el usuario.

La selección de los equipos se realiza en consideración de los resultados obtenidos, y a la revisión bibliográfica de experiencias similares y costos de los materiales mencionados en la Tabla 12.

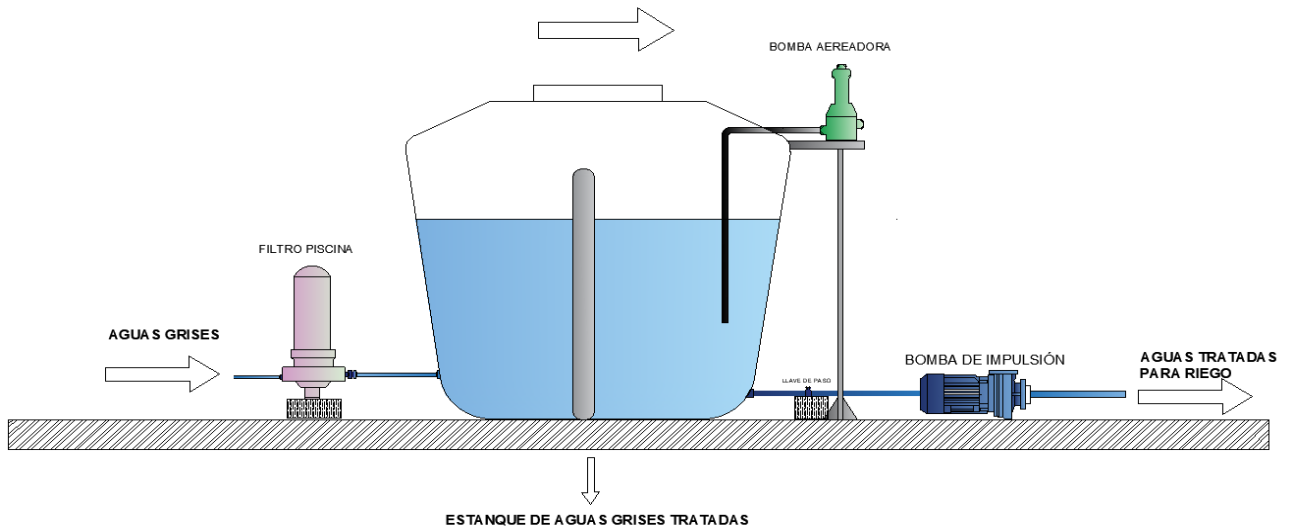


Figura 7 – Sistema propuesto para el reuso de las aguas.

Fuente: Elaboración propia. (AutoCAD)

#### Dimensiones del almacenamiento del sistema.

La capacidad óptima de almacenamiento para las aguas grises tratadas deberá considerar los factores:

-La tasa máxima de tratamiento.

Se dispone de una oferta promedio de agua de 329 L/día, los cuales se incorporan al sistema de reutilización a medida que se va utilizando (ducha) y liberando (agua utilizada se incorpora al sistema de recolección) el recurso.

El filtro tiene una tasa de flujo máximo de 0,0011 m<sup>3</sup>/s, y el caudal que se incorpora es de 0,0015 m<sup>3</sup>/s proveniente de la ducha, dato obtenido estándares de construcción sustentable para viviendas en Chile. Tomo III Agua. MINVU, 2018.

-Los patrones de demanda, usos o comportamiento.

El almacenamiento de las aguas grises tratadas se minimizará hasta aquel requerido para el uso inmediato, el almacenamiento equivalente al uso de un solo día se considerará suficiente.

#### Consideraciones del sistema

Se utilizarán un estanque de 600 L, con el fin de reducir posibles desbordamientos de los estanques, el cual debe estar señalizado.

Las tuberías utilizadas en el sistema de recolección y descarga de aguas grises no deberán requerir mantención excepto en el caso de que fallen. No obstante, estas deben ser monitoreadas para que no existan fugas.

Las aguas se deberán monitorear y muestrear de acuerdo al reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises.

El sistema debe tener una conexión directa a la red de alcantarillado.

Los elementos de sistemas de reutilización deben contar con medidas de seguridad, con el fin de evitar la manipulación por parte individuos ajenos a la operación del sistema.

Los equipos, tales como tuberías, del agua regenerada deben ser revestidos de color morado en el exterior y marcados con letras que digan “AGUA REGENERADA NO POTABLE” en una posición visible, a fin de evitar que se beba o se use de manera equivocada.

Las tuberías de aguas grises con y sin tratamiento, deben mantenerse siempre por debajo de la tubería de agua potable.

## 2.1 Valorizar el sistema de bajo costo, materiales más competentes y de fácil acceso para el usuario que cumplan con el diseño de aguas grises regeneradas

### Proyección de costos

La proyección de los costos se realizara en base a la proyección de costos de los materiales presentada en la Tabla 12. Existen costos que no se aplicaran en este estudio, se consideran no atingentes al documento los siguientes:

- Los costos asociados a control e instrumentación de equipos auxiliares para el control del sistema.
- Los costos de la construcción e instalación del sistema son considerados nulos, ya que le trabajo necesario se realizara por el propietario o cargo de este.
- Los costos de terreno son considerados nulos, ya que el espacio donde se emplaza el sistema debe ser propiedad del usuario o autorizada la instalación del sistema de regeneración de agua por el propietario del terreno.

Tabla 12 - Muestra un estudio económico de los materiales mínimos requeridos para el funcionamiento del sistema de reutilización de aguas grises. Se considera un valor de referencia de la UF 34390 CLP.

PRESUPUESTO DE SISTEMA DE GENERACION DE AGUAS GRISES EN UNA VIVIENDA 111 M2					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
1	Válvula de bola acero inoxidable de 3 vías.	UND	2	\$ 29 899	\$ 59 798
2	Tubo PVC Sanitario de 50 mm	TIRA	9	\$ 7 722	\$ 69 498
3	codo 90°de PVC sanitario de 50 mm	UND	10	\$ 454	\$ 4 538
4	codo 45° de PVC sanitario de 50 mm	UND	9	\$ 454	\$ 4 084
5	Té PVC sanitario de 50 mm	UND	3	\$ 1 168	\$ 3 504
6	Copla PVC sanitario de 50 mm	UND	10	\$ 748	\$ 7 479
7	Vee PVC sanitario de 50 mm	UND	14	\$ 1 504	\$ 21 059
8	Tapa PVC sanitario de 50 mm	UND	5	\$ 832	\$ 4 160
9	Terminal He PVC 50 mm	UND	2	\$ 403	\$ 807
10	Terminal Hi PVC 50 mm	UND	2	\$ 403	\$ 807
11	Filtro de Piscina.	UND	1	\$ 114 369	\$ 114 369
12	Estanque vertical de 600 L Principal.	UND	1	\$ 46 527	\$ 46 527
15	Llave de paso bola PVC 50 MM	UND	3	\$ 6 252	\$ 18 756

PRESUPUESTO DE SISTEMA DE GENERACION DE AGUAS GRISES EN UNA VIVIENDA 111 M2					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
16	Bomba de agua auxiliar secundaria	UND	1	\$ 37 218	\$ 37 218
17	Bomba con Presostato 2 HP	UND	1	\$ 57 218	\$ 57 218
18	Tubería Conduit PVC flexible 20 MM	tira	1	\$ 1 068	\$ 1 068
19	Timer digital Programable	UND	1	\$ 8 390	\$ 8 390
NETO					\$ 459 279
IVA 19%					\$ 87 263
TOTAL					\$ 546 542

Fuente: Elaboración propia.

### Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El PRI es un indicador del tiempo en el cual es posible recuperar la inversión proyectada, equivalente a los costos y beneficios, Tabla 13. El sistema de tratamiento de aguas grises permite reducir el consumo de agua potable en el inmueble, este parámetro indicara el tiempo que se tardara en cubrir el costo de la inversión inicial los eventuales ahorros de agua que se generan.

Para evaluar el ahorro en términos del consumo de agua potable se considera la tarifa de la empresa de saneamiento de agua ESSBIO, la cual presta servicios en Biobío, Ñuble, O'Higgins, esta posee un costo variable en la hora punta de \$758 y la tarifa correspondiente al consumo energético de la bomba. Estos cálculos se consideraran como un costo fijo, ya que se asume que serán cancelados como gatos del hogar.

Con respecto al consumo eléctrico de la bomba se extrae de la ficha técnica los parámetros Caudal 30 L/min, altura 10 m, potencia máxima 0,37 kW, y considerando un volumen aproximado de agua generado en el mes es de 9870 L, se calcula el tiempo de operación de la bomba.

$$t_{bomba} = V_{m\acute{a}x} / Q_{bomba}$$

$$t_{bomba} = 3,29 \text{ h}$$

Se considera como valor de referencia la tarifa variable de la distribución de energía eléctrica en la región del Biobío, realizado por la empresa CGE, de la boleta se extrae el costo variable de la tarifa eléctrica (electricidad 142,3 \$/kWh). Este conjunto de valores permite calcular el aumento que se generara en la tarifa de electricidad debido al funcionamiento de la bomba.

$$C_{electro,mes} = P_{bomba} * t_{bomba} * C_{electricidad}$$

$$C_{electro,mes} = 173,22 \text{ $/mes}$$

$$C_{electro,año} = 2078,66 \text{ $/año}$$

En cuanto al volumen de agua que puede reducirse al utilizar el sistema de reutilización de aguas grises será de 0,329 m<sup>3</sup>/día, considerando este valor a lo largo año es de 118,44 m<sup>3</sup>/año.

A continuación en la Tabla 13 se presenta el flujo neto, considerado como ahorro en agua menos costo de electricidad y el valor del VAN a 13 años considerando una tasa de retorno de 0,12, ya que cuando se iguala el VAN a 0, i pasa a llamarse TIR

Tabla 13 – Cálculos del VAN para el proyecto.

Año	Flujo de efectivo	Flujo de efectivo a valor presente	Flujo de efectivo acumulado
0	-546542		
1	87699	78303	78303
2	87699	69913	148216
3	87699	62422	210638
4	87699	55734	266373
5	87699	49763	316135
6	87699	44431	360566
7	87699	39671	400237
8	87699	35420	435657
9	87699	31625	467282
10	87699	28237	495519
11	87699	25211	520730
12	87699	22510	543240
13	87699	20098	563339
14	87699	17945	581284
VAN	\$16 796.77		
TIR	12,6%		
PRI	12.164271 años		

Fuente: Elaboración propia.

#### **4 Discusión**

De los resultados obtenidos, se considera un volumen de agua regenerada correspondiente a 9,87 m<sup>3</sup>/mes, de este valor solo un 69% se reutilizarán de forma efectiva en descargas de WC o riego de jardín, considerando el perfil del usuario realizado en el estudio, no obstante este perfil está sujeto a múltiples variaciones que pueden generar un aumento tanto en el uso de baños como lavamanos. En consecuencia, para el exceso de agua que se produce, se debe considerar la realización de una conexión desde el sistema de reutilización a red alcantarillado, con el fin de evacuar las aguas para prevenir posibles rebalses o periodos extendidos de conservación.

En cuanto al diseño se considera un único estanque de 600 L, el cual se selecciona de manera arbitraria, cumpliendo con el requerimiento de capacidad máxima de agua que se puede incorporar al sistema en un día, equivalente a 329L, sin embargo este requiere un espacio físico de 1,8m<sup>2</sup>, equivalente a 3,8% de la superficie libre de edificación destinada a áreas verdes.

El prototipo requiere de tan solo 1,8 m<sup>2</sup> para su emplazamiento, lo que permitiría implementarlo tanto en viviendas rurales como urbanas de espacio reducido. Además, existe la alternativa de desinfección por medio de ionizadores, los cuales requieren una mantención mínima, donde solo se debe realizar la reposición de los electrodos una vez al año, inocuos para la salud, pero incrementaría el valor de la inversión inicial en un 20%.

En cuanto a la factibilidad económica del estudio, presenta un VAN positivo con un horizonte de evaluación de 13 años, y un TIR 13% de rentabilidad, no obstante se construyeron sin considerar el aumento de los niveles de resiliencia ante la ocurrencia de la inflación, además, de costos asociados a la ingeniería y supervisión, mejoras en el terreno, lo que conlleva a que este sistema sea susceptible a imponderables externos que deriven en la inviabilidad de su ejecución.

Los costos, que se consideran relativamente bajos, ascienden a la cantidad de \$546.542, implicarían una inversión importante para sectores de escasos recursos, con el fin de masificar este sistema y ser implementado a mayor escala debe considerarse el financiamiento por parte del estado, a través de los aportes entregados por Fondo de Protección Ambiental (FPA), perteneciente al Ministerio del Medio Ambiente, este es un fondo concursable destinado a financiar proyectos comunitarios orientados al desarrollo sustentable.

## 5. Conclusiones

Disponer de un sistema de reutilización de aguas en el hogar, permitiría paliar los efectos producidos por la escasez hídrica, derivada del cambio climático, debido a la cual cada año se presentan menores porcentajes de agua caída (Lluvia y Nieve), lo que repercute directamente en la alimentación de las fuentes de abastecimiento que entregan el servicio de agua potable hacia la población, llegando a niveles críticos, en los cuales se pone en peligro el continuo abastecimiento de agua potable.

Las aguas grises tratadas que aporta el sistema cubren 100% de la exigencia generada por WC y riego, sin embargo, se genera un delta de 0,063 m<sup>3</sup>/día, por lo cual de no ser utilizada se debe devolver a la red de alcantarillado, si este remanente de agua es devuelto a la red pública, conlleva a que el funcionamiento real de ahorro de aguas producido por el sistema, sea del orden de 69% de su capacidad total de reutilización.

El sistema presentado considera un diseño de un bajo costo de implementación, tomando como referencia los aportes que entrega INDAP para proyectos similares es del orden de \$750.000, lo cual cubriría el costo estimativo de los materiales.

En cuanto a la factibilidad económica del estudio, se calculan los parámetros de decisión e inversión del proyecto, obteniendo como resultado un VAN positivo, indicativo de la viabilidad de este, a su vez se calcula un PRI de 13 años, este valor que permite identificar el periodo de tiempo que tarda el recuperar la inversión, como último indicador tenemos el TIR, donde nuestro proyecto considera flujos de fondos negativos al inicio y luego flujos positivos, este valor asciende a un 13% que es mayor a la tasa de descuento (12%), por ende se recomienda realizar el sistema de reutilización de aguas grises.

No obstante se construyeron sin considerar el aumento de los niveles de resiliencia ante la ocurrencia de la inflación, además, de costos asociados a la ingeniería y supervisión, mejoras en el terreno, lo que conlleva a que este sistema sea susceptible a imponderables externos que deriven en la inviabilidad de su ejecución.

Con los parámetros obtenidos se obtiene un porcentaje de reutilización de más del 65% de las aguas grises, lo cual es una alternativa viable de implementar de forma particular o grupos organizados de viviendas, con el fin de reducir costos de implementación y obteniendo así un retorno de la inversión en un plazo de tiempo más acotado.

**Referencia****Formato físico**

Normalización, I. N. (2018). *NCh 3581 - Reutilización de agua residual de origen doméstico*.

Normalización, I. N. (2018). *NCh3582 - Reutilización de aguas de origen doméstico*.

Normalización, I. N. (26 de 11 de 2019). *NCh 3580 Reutilización de aguas*.

Normalización, I. N. (1987). *NCh1333 Requisitos de Calidad del agua para diferentes usos*.

**Formato en línea**

A.G, A. N. (08 de 2018). *ANDESS*. Recuperado el 08 de 2022, de <https://www.andess.cl/wp-content/uploads/2018/08/Reporte-Andess-2017.pdf>

AGRICULTURA, O. D. (2011). *www.fao.org*. Recuperado el 2022, de <https://www.fao.org/3/i2050s/i2050s.pdf>

Ambiente, M. d. (2018). *Cuarto reporte del estado del medio ambiente*. Recuperado el 2022, de *Cuarto-REMA-comprimido\_compressed\_compressed.pdf* (mma.gob.cl)

Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas. (2016). *www.aquaespana.org*. Recuperado el 07 de 2022, de [www.aquaespana.org](http://www.aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf): <https://aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf>

Bures. S. *Revista Horticultura*, C. 1. (2000). *www.cityofhealdsburg.net*. Recuperado el 2022, de <https://www.cityofhealdsburg.net/DocumentCenter/View/1000/Estimating-Irrigation-Water-Needs-of-Landscape-Plantings-in-California-PDF>

CASEN. (2017). *Ministerio de Desarrollo Social y Familia- Chile*. Recuperado el 2022, de [http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2017/Resultados\\_obreja\\_Casen\\_2017.pdf](http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2017/Resultados_obreja_Casen_2017.pdf)

Fragkou, M. C. (2022). *uchile.cl*. Recuperado el 2022, de <https://www.uchile.cl/noticias/184816/dia-mundial-del-agua-chile-lidera-la-crisis-hidrica-en-america-latina>

Hofste, W., Paul Reig, R., & Leah, S. (2019). *Word Resources Institue del pacto Mundial de las Naciones Unidas*. Recuperado el 2022, de <https://www.wri.org/insights/17-countries-home-one-quarter-worlds-population-face-extremely-high-water-stress>

Instituto Nacional de Estadísticas, C. (2017). *Segunda entrega resultados Censo*. Recuperado el 2022, de [file:///C:/Users/camila/Downloads/presentacion\\_de\\_la\\_segunda\\_entrega\\_de\\_resultados\\_c\\_20806\\_125228.pdf](file:///C:/Users/camila/Downloads/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_c_20806_125228.pdf)

Leiva, E., Rafael, S., Constanza, A., Jennyfer, S., & Carolina, R. (12 de 2021). *prohumana.cl*. Recuperado el 2022, de <http://prohumana.cl/wp-content/uploads/2021/12/Reutilizaci%C3%B3n-de-Aguas-Grisen-Chile-Capitulo-6-N.Schneider.pdf>

- Ley Núm 21075 Regulacion de Recolección, R. y. (2018). *bcn.cl*. Recuperado el 2022, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1115066&idParte=>
- Normalización, I. N. (2008). *idoc.pub*. Recuperado el 2022, de <https://idoc.pub/documents/nch-1079-2008-2nv8e9r6wylk>
- Normalizacion, I. N. (11 de 2013). *ciperchile.cl*. Recuperado el 2022, de NCh 1333 OF 78: [https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978\\_Mod-1987.pdf](https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf)
- Presidencia, M. S. (2001). *D.S n°90 de 2000*. Recuperado el 2022, de <https://sinca.mma.gob.cl/uploads/documentos/8e29638a4c791ba9ec0f04cf41b78a4f.pdf>
- Presidencia, M. S. (2001). *sinca.mma.gob.cl*. Recuperado el 2022, de <https://sinca.mma.gob.cl/uploads/documentos/8e29638a4c791ba9ec0f04cf41b78a4f.pdf>
- pública, A. C.-C. (2022). *ANDESS chile*. Recuperado el 2022, de <https://www.andess.cl/wpcontent/uploads/2021/07/FOLLETO-ANDESS-29-06-V2.pdf>
- Públicas, M. d. (02 de 2018). *mma.gob.cl*. Recuperado el 1022, de <http://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Grisas.pdf>
- Salud, M. d. (2018). *Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilizacion de aguas grises*.
- Sanitarios, S. d. (2009). *www.siss.gob.cl*. Recuperado el 2022, de [http://www.siss.gob.cl/577/articles-7663\\_recurso\\_5.pdf](http://www.siss.gob.cl/577/articles-7663_recurso_5.pdf)
- Sanitarios, S. d. (2016). *www.siss.gob.cl*. Recuperado el 2022, de [http://www.siss.gob.cl/586/articles-16848\\_recurso\\_2.pdf](http://www.siss.gob.cl/586/articles-16848_recurso_2.pdf)
- Sanitarios, S. d. (2022). *www.siss.gob.cl*. Recuperado el 2022, de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6385.html>
- SERNAC. (2003). *SERNAC:Educación*. Recuperado el 2022, de Consumo de Agua - SERNAC: Educación
- Services, E. F. (2020). *www.eureae.org*. Recuperado el 2022, de <https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5219-the-governance-of-water-services-in-europe-2020-edition/file>
- Sustentable, C. E. (s.f.). *www.certificacionsustentable.cl*. Recuperado el 2022, de [https://certificacionsustentable.cl/wpcontent/uploads/2020/03/27310\\_Manual1\\_EvaluacionCalificacion\\_v1.1\\_2014.05.28.pdf](https://certificacionsustentable.cl/wpcontent/uploads/2020/03/27310_Manual1_EvaluacionCalificacion_v1.1_2014.05.28.pdf)
- Urbanismo, M. d. (2016). *www.csustentable.minvu.gob.cl*. Recuperado el 2022, de [http://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/ECSV\\_3.pdf](http://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/ECSV_3.pdf)

**Anexo A**

Tabla A.1 – Factor Ks, Kd, Kmc, para la realización del cálculo del coeficiente de jardín.

Nivel	Factor según la Especie Ks	Factor Densidad Kd	Factor microclima Kmc
Alto	Especie con alta necesidades de agua	Plantaciones de varios niveles con densidad alta (cobertura Completa en algún nivel).	Influencia de fuentes de calor externo (vehículos, edificios o elevado uso de pavimentos)
Medio	Especie con medias necesidades de agua	Plantaciones con: <ul style="list-style-type: none"> <li>• un solo nivel de densidad de Árboles con cobertura superior al 70%;</li> <li>• un solo nivel de Arbustos o tapizantes con cobertura mayor al 90%</li> </ul>	Campo abierto, grandes jardines con poco pavimento
Bajo	Especies con baja necesidad de agua	Plantaciones con: <ul style="list-style-type: none"> <li>• un solo nivel de densidad de Árboles con cobertura inferior al 70%,</li> <li>• un solo nivel de Arbustos o tapizantes con cobertura inferior al 90 % .</li> <li>• un jardín con más de un nivel con muy baja densidad.</li> </ul>	Jardines protegidos y en entornos poco urbanizados

Fuente (Clark et al., 1991)

Tabla A.2 - Factores más comunes Según el Tipo de Vegetación, valores de referencia. En algún caso Ks puede ser mayor, si desea utilizar otros factores siempre verificar la fuente:

Tipo de Vegetación	Factor de Especie Ks			Factor Microclima Kmc			Factor Densidad Kd		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Árboles	0,9	0,5	0,2	1,4	1	0,5	1,3	1	0,5
Arbustos, Trepadoras	0,7	0,5	0,2	1,3	1	0,5	1,1	1	0,5
Gramíneas	0,3	0,6	0,8	0,5	1	1,3	0,5	1	1,1
Cactáceas	0,2	0,5	0,7	0,5	1	1,3	0,5	1	1,1
Tapizantes, Cubresuelos y Herbáceas	0,7	0,5	0,2	1,2	1	0,5	1,1	1	0,5
Plantaciones Mistas	0,9	0,5	0,2	1,4	1	0,5	1,1	1,1	0,5
Césped	0,8	0,7	0,6	1,2	1	0,8	1	1	0,6

Fuente: Tomo 3 Estándares de Construcción sustentable para viviendas de Chile, Minvu, 2018

Tabla A.3 – Factor de especie según la región del país.

Región	Factor de Especie
Arica y Parinacota	Bajo
Tarapacá	Bajo
Antofagasta	Bajo
Atacama	Bajo
Coquimbo	Bajo
Valparaíso	Bajo
Metropolitana	Bajo
Libertador Bernardo O'higgins	Medio
Maule	Medio
Ñuble	Medio
Biobío	Medio
Araucanía	Medio
Los Ríos	Alto
Los Lagos	Alto
Aysén	Alto
Magallanes y Antártica Chilena	Alto

Fuente: Tomo 3 Estándares de Construcción sustentable para vivienda Chile, Minvu, 2018

Tabla A.4 – Factor de evapotranspiración y precipitación anual.

Localidad	PA Precipitación Anual (mm/año)	ET0 Evapotranspiración Enero (mm/año)
Arica y Parinacota	0,5	210
Iquique	0,6	221
Antofagasta	1,7	232
Chañaral	11,5	186
La Serena	78	185
Quillagua	0,7	
Calama	6,4	184
Copiapó	12	192
Vallenar	31,6	193
Vicuña	92	239
Ovalle	125,7	176
Combarbalá	214,6	180
Illapel	219,8	177
Quintero	341	150
Viña del Mar	508,4	147
Valparaíso	372,5	150
San Antonio	388	132
Chanco	781,9	144
San Felipe	234,2	179
Los Andes	275,5	190
Santiago	312,5	210
Rancagua	436,2	196
Curicó	701,9	196
Talca	721,2	197
Linares	966,9	196
Cauquenes	696,8	198
Chillán	1107	196
Talcahuano	1107	136
Concepción	1110	141
Valdivia	1871	142
Puerto Montt	1802	121
Los Ángeles	1072	209
Traiguén	945	171
Temuco	1157	171
Loncoche	2068	154
Osorno	1331	145
Ancud*	2704	134
Castro*	1871	130
Aysén	2647	121
Punta Arenas	375	106
Potrerrillos	12,9	210

Fuentes: PA a tabla 3 de la NCh 1079: Of.2008 ; ET0: programa para determinación de evapotranspiración local de la Comisión Nacional de Riego.