

Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo - Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile.

Methodology for the reuse of grey water in dwelling located in areas of water stress and extreme hydric stress - Characterization, quality and treatment options for reuse in Chile.

Marco Antonio Díaz (*), Alejandra Decinti (*), David Blanco (**), Karin Vasquez (***)

RESUMEN

El aumento de la población y cambio climático en el país ejerce directa presión sobre el recurso hídrico, generando incertidumbre en su disponibilidad. El norte de Chile es una de las zonas más áridas del mundo, característica que últimamente se extiende también a la zona central, por lo que se hace imprescindible desarrollar una alternativa potencial a esta escasez. El agua gris se presenta como una atractiva oportunidad para aumentar la disponibilidad hídrica, esta es agua residual que excluye las aguas negras, se puede tratar y reutilizar en riego y descarga de inodoros. Este estudio plantea una metodología de selección de sistemas de tratamiento para viviendas en zonas de escasez. Partiendo con la clasificación de tecnologías comúnmente utilizadas, su eficiencia en depuración, características y calidad de afluentes y efluentes respectivamente, obteniendo los porcentajes de consumos diarios de agua gris, y una matriz de selección de para viviendas uni y multifamiliares.

Palabras clave: Estrés hídrico; consumo en viviendas; metodología agua gris; matriz de selección; caracterización en Chile

ABSTRACT

The increase in population and climate change in the country exert direct pressure on the water resource, generating uncertainty in its availability. The north of Chile is one of the more arid areas in the world, a characteristic that lately also extends to the central area, so it is essential to develop a potential alternative to this scarcity. Grey water is presented as an attractive opportunity to increase water availability, this is wastewater that excludes blackwater, it can be treated and reused in irrigation and flushing toilets. This study proposes a methodology for selecting treatment systems for homes in scarcity areas. Starting with the classification of commonly used technologies, their efficiency in treatment, characteristics and quality of tributaries and effluents respectively, obtaining the percentages of daily grey water consumption, and a selection matrix for single and multifamily dwellings.

Keywords: Water stress; consumption in dwellings; grey water methodology; selection matrix; characterization in Chile

(*) Mg. Ingeniero Civil, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile.

(**) Doctor en Ciencias y Medioambiente, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile.

(***)Ms. Ingeniero Constructor, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile.

Persona de contacto/Corresponding author: marco.diaz@utem.cl (Marco A. Díaz)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9410-5986> (Marco A. Díaz); <https://orcid.org/0000-0002-3847-1487> (A. Decinti); <https://orcid.org/0000-0002-7261-5851> (D. Blanco); <https://orcid.org/0000-0002-1335-9624> (K. Vasquez)

Cómo citar este artículo/Citation: Marco Antonio Díaz, Alejandra Decinti, David Blanco, Karin Vasquez (2021). Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo - Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile. *Informes de la Construcción*, 73(563): e408. <https://doi.org/10.3989/ic.80823>

Copyright: © 2021 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

1. INTRODUCCIÓN.

América Latina y el Caribe, es rica en recursos hídricos, su área representa sólo el 15% de la superficie terrestre y recibe el 30% de la precipitación global. No obstante, la distribución de los recursos hídricos es extremadamente desigual, y con una amplia diversidad climática. Chile es claro ejemplo donde las regiones del norte muestran características de desierto, mientras las regiones del sur como Magallanes tienen una disponibilidad de agua de 2 millones de m³/hab/año (1).

Según la información extraída del Seminario Internacional de Alternativas Hídricas para la Macrozona Norte (2), el norte de Chile es una de las zonas más áridas del mundo y el escenario de un crecimiento poblacional y económico genera una fuerte presión sobre el recurso hídrico. Las predicciones a nivel nacional de los efectos del cambio climático, en la mayoría de sus modelos, predice para gran parte del territorio nacional, una disminución en las precipitaciones (3). Este fenómeno, en un principio se manifestó en las regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana, y en el último año se extendió incluso más al sur.

El reuso se convierte en una alternativa que puede generar ahorros en el consumo de agua y servir como una fuente adicional de abastecimiento, sobre todo en zonas de escasez (4), donde la cantidad de agua per cápita se ve limitada, independiente del nivel socio económico de la población. A nivel global, los países pioneros en cuanto a la reutilización de aguas grises se encuentran: Estados Unidos (California, Arizona, Texas y Florida), Australia, Japón, Reino Unido, Francia, Alemania, Israel, Arabia Saudí, Jordania, Chipre y España. La mayoría de estos países presenta el mismo denominador común: un clima seco con pocas e irregulares lluvias, características intrínsecas compartidas con las zonas norte y central de Chile, aunque hay excepciones, como Reino Unido, Francia, Alemania y Japón (5)(6)(7)(8).

En general las condiciones y características del agua gris depende de muchos factores, entre ellos; el socioeconómico, el tipo de suministro, los hábitos de higiene, etc (9). Un alto porcentaje de las zonas con escasez en el país son rurales, por su extensa geografía, las cuales muchas veces son encasilladas como de alta incidencia de pobreza, aisladas, con predominancia de agricultura para autoconsumo, poco acceso a servicios básicos y baja dotación de capital, descrito lo anterior, es importante entonces destacar que apenas un tercio de las comunas de estas zonas (con un 20% de la población rural), corresponden a este tipo de ruralidad (10), la encuesta CASEN (11) indica un porcentaje similar entre 16 y 23% en dichas zonas.

1.1. Definición de agua gris

El agua gris, es definido de manera ligeramente diferente dependiendo del país, generalmente se refiere a las aguas residuales generadas a partir de usos domésticos, esta se descompone en “Agua Gris” y “Agua Negra”. En general, estas pueden contener partículas de alimentos, aceite, grasa, pelo, agentes patógenos, jabones, detergentes, champús, dentífricos, cremas corporales, cosméticos y otros productos químicos, diferentes metales y sustancias peligrosas (9) (12), proveniente de lavadoras, duchas, lavamanos, lavaderos y cocinas, esta última, también se conoce como “agua

gris oscura (13) o de alta carga”, ya que tienden a tener altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes, aceites y grasas, que fomenta el crecimiento de bacterias (5)(14) y el agua negra es el agua residual proveniente de inodoros, urinarios y/o bidets (6)(7)(15).

La reciente Ley N°21.075 (15) que regula la reutilización de las aguas grises, se define el agua gris como: “Aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras”. En ella se mencionan los usos de las aguas tratadas, tales como; urbanas, recreativas, ornamentales, industriales y ambientales, en urbanos se destaca el riego de jardines y recarga de inodoros.

1.2. Similitud climática

Según la clasificación de Köppen-Geiger, existen muchos países y regiones con clima similar al norte de Chile. Se trata de climas secos, áridos y semiáridos, clasificación BWk (desértico frío normal), BWk' (desértico muy frío) BSk (Semiárido templado con lluvias invernales) BSk's (Semiárido muy frío con lluvias invernales) (16). Por ejemplo, el centro oeste de Estados Unidos (Colorado, Texas, Nuevo México y Wyoming), oeste de Namibia, sur de África y Australia, norte de China y Kazajistán, sectores de Jordania y Siria. La zona centro del país, en su mayoría cuenta con clima templado con lluvias de invierno (Csb) (16), países con clima templado, encontramos en el mediterráneo, al norte de Portugal, España, Grecia y Turquía, y el noroeste de Estados Unidos (California y Washington).

1.3. Usos del agua gris

Si bien las aguas grises tienen una amplia variedad de aplicaciones no potables, cuanto mayor es el tratamiento o la calidad del efluente, más costo tiene el sistema.

Otros usos que se le pueden dar al agua gris recuperada, pueden ser lavado de pavimentos, lavado de automóviles o la extinción de incendios en algunos casos (5). En este aspecto la Ley N°21.075 (15) señala sus prohibiciones de uso.

Debido a sus características físicas, químicas y microbianas, existe la posibilidad de causar problemas ambientales y de salud pública si no se usan o tratan de manera adecuada (5) (6), por lo que se debe tener en cuenta:

- El tipo de contaminante.
- Posibles riesgos a la salud.
- Calidad física, química y biológica, según utilización.

1.4. Objetivos del estudio

Este estudio pretende establecer una metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas uni y multifamiliares a nivel país, sobre todo si aún no se cuenta a la fecha con un reglamento o estándar específico de reuso procurando considerar sistemas de bajo costo de implementación, operación, fácil construcción y mantención mínima.

Este artículo se centra en caracterizar este tipo de aguas, analizando investigaciones, tanto nacionales como internacionales, para construir el marco teórico, el estado del arte

y establecer la línea base y/o punto de partida para la metodología. De estas se seleccionaron y resumieron las características, calidad, consumos, eficiencias de sistemas, criterios de diseño y técnicas más apropiadas para la reutilización de las aguas grises, contrastarlas y adaptarlas a nuestra realidad, tanto económica (con países miembros de la OCDE), como de zonas climáticas con países con un clima similar a las zonas con escasez.

Se plantea aportar con propuestas de caracterización, calidad, y consumos de agua gris para el territorio de estudio, además de las tecnologías más utilizadas y con mayor eficiencia, para ser utilizadas en riego y recarga de inodoros.

2. METODOLOGIA PARA LA REUTILIZACION

2.1. Metodología

La metodología para la selección de los sistemas de tratamiento en viviendas persigue obtener las características del afluente, la calidad final del agua tratada, su volumen diario y la efectividad de las tecnologías para reducir los contaminantes en exceso y desarrollar una matriz simple y útil para el diseño.

La secuencia metodológica propuesta comprende los siguientes Pasos:

Paso 1. Caracterizar el efluente a tratar, para obtener los valores típicos de carga contaminante y sus efectos al ser mayores a los valores recomendados.

Paso 2. Calidad requerida del efluente para un suministro seguro, cumpliendo con los estándares de calidad internacionales.

Paso 3. Densidad habitacional y el volumen de agua gris generada por persona, por artefacto o bien por recinto, dato clave para el dimensionamiento.

Paso 4. Selección de componentes de un sistema de tratamiento, que cumpla con la premisa de bajo costo de mantenimiento y operación, y comprobada capacidad de remoción de contaminantes en aguas grises.

2.2. Caracterización del efluente

La cantidad de agua gris generada en un hogar varía significativamente dependiendo del nivel de vida, estructura demográfica, edad, sexo, del número de personas por vivienda, de la abundancia de agua, de los productos utilizados, clima, etc. Por lo tanto, sus características son muy variables (9). Su temperatura, oscila entre 18-30 °C, debido a que el 100% del agua caliente se puede acumular, y el pH es ligeramente alcalino por el agua de lavadoras (13).

Para obtener valores típicos de contaminantes en aguas grises de alta carga y establecer un techo, y además obtener rendimiento de una trampa de grasa, se procedió a tomar muestras de un estanque separador de aceites y grasas (CSAG) existente en la Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), la cual recibe las descargas del casino de comidas, que contempla 3 lavamanos y 5 lavaplatos, las muestras se tomaron en los compartimentos de entrada y salida de este estanque, los resultados se aprecian en tabla N° 1.

Tabla 1. Resultado de análisis de laboratorio en cámara separadora de aceites y grasas (CSAG UTEM), según normas chilenas.

Datos de afluente a CSAG		Datos de efluente de CSAG	
Parámetro	Carga	Parámetro	Carga
pH*	5,05	pH*	5,5
Temperatura (°C) *	24,8	Temperatura (°C) *	23,7
DBO ₅ (mgO ₂ /l) *	44550	DBO ₅ (mgO ₂ /l) *	1783
SST (mg/l) *	92890	SST (mg/l) *	326
Turbiedad (NTU)**	>4000	Turbiedad (NTU)**	260
Aceite y Grasas (mg/l) *	9374	Aceite y Grasas (mg/l) *	171
Coliformes Fecales (NMP/100ml)*	1,7 x 10 ⁶	Coliformes Fecales (NMP/100ml)*	1,5 x 10 ⁵

*NCh2313: Aguas Residuales - Métodos de análisis, basado en SMEWW-APHA-AWWA-WEF 18th Ed.

**ME-03-2007: Determinación de Turbiedad por Método Nefelométrico. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable 2ª Versión 2007 SISS.

Tabla 2. Recopilación de características de aguas grises de diversos estudios, países con similitud a Chile.

PARÁMETRO	(9) España ^a	(4) Grecia ^b	(18) Chile ^c		(19) Jordania	(20) Jordania	(21) Grecia	Promedio
			Calama	Vallenar				
Turbiedad (NTU)	22-200		57,7-193					197
Coliformes totales (UFC/100 ml)	10-106		1,5x10 ³	1,3x10 ⁴		1x10 ⁷		5,5-105
Escherichia coli (UFC/100 ml)	10-105		104x10 ⁸	104x10 ⁸		3x10 ⁵		8,1-104
Ph	7,0-8,0	7,2-10,2			6,9-7,8	6,35		7,5
Nemátodos intestinales	1 huevo/10 l							1 huevo/10 l
Sólidos en suspensión (mg/l)	45-330	46,3-233	70	119	23-358	845		259
Conductividad (uS/cm)	10				1,57-2,0	18,3		10
DQO (mg/l)		286-1199	457	719	92-2263	2568	617-1189	941
DBO ₅ (mg/l)	90-290	199-862	194	384	110-1240	1056	397-863	523
Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	2,1-31,5	0,6-6,6	9,3	6,14	38-61	128	1,9-7,3	31

^a No considera aguas provenientes de cocinas y lavado.

^b Considera los valores mínimos y máximos de 4 tipos de aguas grises de 3 tipos de hogares estudiados.

^c Análisis de dos muestras de aguas grises en hogares de Calama y Vallenar respectivamente.

El Cl⁻ no es adsorbido por el suelo, es captado por plantas y se acumula en hojas (hojas quemadas) si su concentración es alta, tampoco debe sobrepasar los 3 me/l (13)(26).

A diferencia de los anteriores, el boro es esencial para el crecimiento de las plantas, pero, si está presente en cantidades significativamente mayores, se transforma en tóxico, no debe ser mayor a 0.7 mg/l (26). La regulación australiana, en lugar de regular las concentraciones, recomienda detergentes sin boro (5).

3. RESULTADOS

3.1. Calidad del agua gris

La inactivación de patógenos es mucho más rápida en climas cálidos y/o soleados, que en condiciones de clima frío, nublado o lluvioso (17), Chile presenta gran ventaja en este aspecto, sobre todo para la utilización de humedales (17).

Se presentan en las tablas N°3 y 4, un resumen y propuesta de parámetros de calidad, para uso en inodoros y en riego de jardines respectivamente. Se presentan todos los países para visualizar de manera global los estándares internacionales, por la importancia que tienen estos parámetros, no importando la diferencia social o climática cuando está en riesgo la salud y el medio ambiente. La selección responde a los valores más restrictivos.

3.2. Consumo por dotación

El volumen diario de agua gris, varía de 90 a 120 litros por persona, rango que representa entre 50 a 70% del agua eliminada de un hogar (2)(5)(7)(14)(27) y 70 a 90% del volumen de agua potable (2)(28)(29). Lo anterior se resume en la tabla N°5.

Tabla 5. Resumen de dotaciones por persona y tipo de edificación.

	(22) Hong Kong	(25) España	(9) España
Vivienda Alto Consumo (l/hab-día)	138		
Vivienda Medio Consumo (l/hab-día)	111	100	100
Vivienda Bajo Consumo (l/hab-día)	90	60	50
Vivienda Social (l/hab-día)	90	60	
Escuelas (l/alum-día)	6,9		
Oficinas (l/per-día)	16,5		
Locales Comerciales (l/per-día)	21		
*Restaurantes (l/m²-día)	500		
Hoteles (l/per-día)		90-100	50-150
Gimnasios (l/per-día)		60	60
*Área útil de cocina			

Tabla 3. Recopilación de parámetros de calidad para uso residencial, en gris, países con características de similitud a Chile.

Recarga de Inodoros	(22) Hong Kong,	(9) España	R.Decreto 1620/2007. España ^a	(23) Reino Unido	Ministry of Health Canada ^b	(12)	Ernst et al., 2006, China ^c	(14)	Calidad Efluente Propuesta
Sólidos en suspensión (mg/l)	≤ 5		≤ 20		≤ 20				≤ 5
Turbidez (NTU)	≤ 5	≤ 5	≤ 10	< 10	< 5	≤ 2	< 5	< 5	≤ 5
DBO ₅ (mg/l)	≤ 10				≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Escherichia coli (UFC/100 ml)	No detectado	No detectado	No detectado	10	< 200	No detectado	3	≤ 10	No detectado
Nematodos intestinales C1/10 l)			1 huevo						
Conductividad (uS/cm)									
Cloro Residual Cl ₂ (mg/l)	≥ 0,2	0,5 -2		< 2	0,5-1,5	≤ 1	> 1	≤ 1	0,2-1,5
pH	6,0 - 9,0	7.8- 8.0		5,0-9,5		6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0
a Citado en (9)	b Citado en (24)			c Citado en (14)					

Tabla 4. Recopilación de parámetros de calidad para uso en riego, en gris, países con características de similitud a Chile.

Riego de Jardines	(25) España	(9) España	R.Decreto 1620/2007 España ^a	(6) NSF350	(23) Reino Unido	(12)	Ernst et al., 2006 China ^b	(14)	Calidad Efluente Propuesta
Sólidos en suspensión (mg/l)	< 25		≤ 20	≤ 30				≤ 30	≤ 30
Turbidez (NTU)	< 5	< 10	≤ 10	≤ 5	< 10	≤ 2	< 20	< 5	≤ 5
DBO ₅ (mg/l)				≤ 25		≤ 30	≤ 20	≤ 30	≤ 25
Escherichia coli (UFC/100 ml)	< 200	< 200	≤ 200	≤ 200	10	≤ 200	3	≤ 10	≤ 200
Nematodos intestinales C1/10 l)	1 huevo		1 huevo						
Conductividad (uS/cm)	< 3000								<3000
Cloro Residual Cl ₂ (mg/l)	≥ 0,2	0,5 -2		1	< 2	≤ 1	> 1	≤ 1	0,5-2
pH	6,0 - 9,0	7.8- 8.0		6,0 - 9,0	5,0-9,5	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0
a Citado en (9)	b Citado en (14)								

El consumo de agua potable en Chile, está representado por los metros cúbicos de agua potable que se facturan a los clientes de cada empresa sanitaria, según tabla N°6. En ella, llama la atención los datos de las empresas destacadas en gris, las cuales pres- tan servicios a las comunas con más altos ingresos del país, con un promedio diario por habitante de 349 litros, casi triplicando el consumo de las comunas con estrés hídrico extremo (EHE) que no sobrepasan los 127 litros por habitante y día.

Tabla 6. Dotación residencial de agua potable por región y zona hídrica, modificado de (3), en gris comunas con más altos ingresos.

Empresa Sanitaria**	Población urbana abastecida			Litros por habitante y día			Zona Hídrica (31)	
	2016	2015	Variación	2016	2015	Variación	Región	Zona *
Aguas del Altiplano	561.153	551.335	1,78%	130,5	128,4	1,61%	XV,I	EH
Aguas de Antofagasta	640.256	623.461	2,69%	126,4	130,2	-2,94%	II	EHE
Aguas Chañar	286.403	284.932	0,52%	127,9	116,2	10,03%	III	EHE
Aguas del Valle	680.081	662.084	2,72%	127,7	124,5	2,64%	IV	EH
ESSSI	47.469	34.593	37,22%	139,7	166,6	-16,18%	XIII	EH
ESVAL	1.689.192	1.658.026	1,88%	139,8	140,2	-0,29%	V	EH
COOPAGUA	8.126	7.823	3,88%	442,1	444,1	-0,46%	V	EH
Aguas Andinas	6.575.545	6.388.412	2,93%	138,4	139,8	-0,99%	XIII	EH
Aguas Cordillera	456.704	438.804	4,08%	300,1	319,1	-5,95%	XIII	EH
Aguas Manquehue	63.497	57.960	9,55%	440,8	457,4	-3,62%	XIII	EH
SMAPA	754.374	749.620	0,63%	146,1	146,4	-0,17%	XIII	EH
Sembcorp Aguas Lampa	27.093	26.387	2,67%	157,1	156,1	0,67%	XIII	EH
Sembcorp Aguas Chacabuco	88.207	83.236	5,97%	136	142,7	-4,68%	XIII	EH
Sembcorp Aguas Santiago	20.303	18.779	8,12%	306,1	321,8	-4,88%	XIII	EH
ASP	12.496	12.508	-0,10%	130,4	130,2	0,15%	XIII	EH
COSSBO	12.614	12.502	0,90%	89,3	90,6	-1,41%	XIII	EH
Melipilla Norte	23.829	21.510	10,78%	66,6	69,2	-3,76%	XIII	EH
SELAR	7.631	6.988	9,20%	257	294,8	-12,82%	XIII	EH
SEPPRA	13.887	13.476	3,05%	226,6	238,1	-4,83%	XIII	EH
Novaguas	15.843	13.283	19,27%	155,6	171,6	-9,34%	XIII	EH
Aguas San Pedro	78.012	61.855	26,12%	96,1	96,7	-0,62%	XIII	EH
Promedio ***				136,1	136,9			

* EH: Estrés Hídrico; EHE: Estrés Hídrico Extremo.

**Solo se muestran las empresas ubicadas en zonas con EH y EHE, desde las regiones al norte, hasta el centro del país.

***El promedio corresponde a los valores de todo el país.

Tabla 7. Recopilación de caudales diarios de agua gris (AG) y aguas servidas (AS) según la fuente, en gris países con similitud a Chile.

ARTEFACTO	(20) Jordania ^a		(22) Hong Kong ^b		(32) Zimbabue		(4) Grecia		Roesner et al., 2006. USA ^c		Antonopoulos et al., 2013. Grecia ^e		Loh & Coghlan 2003. Australia ^e		(12) New South Wales	
	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%
Lavaplatos	55	45,5	54	20,4	16	11,0	29,7	30,2	27	13	12,2	14,8	47	29,4	15	11,3
Lavavajillas			32	12,1			0,6	0,6			6,6	8,0				
Lavamanos			7	2,6			11,3	11,5	88	45	8,6	10,4				
Ducha	55	45,5	52	19,6	68	46,9	37,5	38,1			33,9	41,0	66	41,3	73	54,9
Bañera			30	11,3												
Lavadero	11	9,1			61	42,1	19,2	19,5	82	42	21,3	25,8	47	29,4	45	33,8
Lavadora			90	34,0												
Total AG (l/día)	121		265		145		98,3		197		82,6		160		133	
Inodorof					40	22			101	34					62	32
Total AS (l/día)					185				298						195	

ARTEFACTO	(8) Australia ^c		Mandel et al., 2011. India ^c		(12) Jordania		(12) Oman		(5) USA ^d		Penn et al., 2012. Israel ^c		(25) España		(12) Queensland	
	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%	L/día	%
Lavaplatos	17	15,0	37	31,6	29	49,2	64	40,0			26,6	26,5	47	29,4		
Lavavajillas									4	2,6						
Lavamanos			17	14,5					41	27,2	18	17,9				
Ducha	62	54,9	30	25,6	20	33,9	83	51,9	44	29,1	39,2	39,0	66	41,3	60	63,2
Bañera									5	3,3						
Lavadero	34	30,1	33	28,2	10	16,9	13	8,1			16,6	16,5	47	29,4	35	36,8
Lavadora									57	37,7						
Total AG (l/día)	113		117		59		160		151		100		160		95	
Inodorof			25	18	16	21	35	18	71,7	32	59	37				
Total AS (l/día)			142		75		195		223		159					

^a Valor para una familia de 9 personas

^c Citado por (21)

^b Los caudales se obtuvieron del DBHS4 (33).

^c Citado por (4)

^f El porcentaje del inodoro corresponde al total de las aguas servidas, los otros porcentajes corresponden al total de AG.

^d 14 ciudades de USA

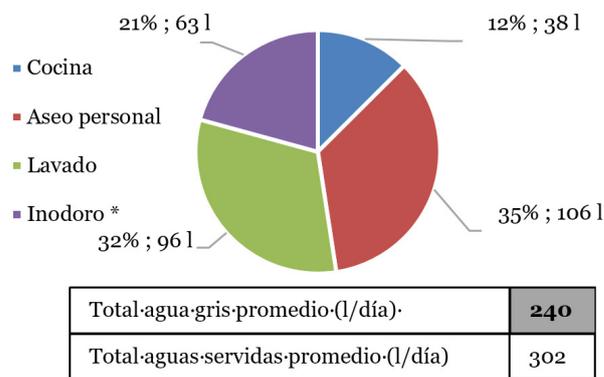
Un estudio realizado en América del Norte, por la Water Research Foundation, Residential Uses of Water en adelante REU1999, analizo los datos de uso del agua de 14 ciudades de Estados Unidos, a partir de esta encuesta, se estimó que el consumo promedio de agua per cápita es de 330 litros al día (5). El mismo estudio actualizado al 2016, REU2016 (28) evidenció un uso de 222 litros por habitante al día, reducción debida a la eficiencia en los flujos en inodoros, lavadoras de ropa y griferías.

La tabla N°7, recopila los valores de varios estudios a nivel global, donde se indica la cantidad de agua gris y aguas servidas utilizada al día según el artefacto, cuyos promedios, se encuentran en la tabla N°8, en ella puede apreciar una leve variación de solo un 4% en los promedios de agua gris, estos resultados también pueden ser representados por recinto, como se aprecia en la figura N°1. Ambos parámetros son útiles para el diseño, ya sea si se conoce o no la cantidad de artefactos.

Tabla 8. Resumen de la tabla N°7 de la cantidad de aguas grises y aguas servidas promedio en el hogar, según la fuente.

Artefacto	Promedio total de países	Promedio países con similitud
Artefacto	l/día	l/día
Lavaplatos	34	34
Lavavajillas	11	4
Lavamanos	27	45
Ducha	53	56
Bañera	18	5
Lavadero	34	39
Lavadora	74	57
Total agua gris (AG)	250	240
Total aguas servidas (AS)	301	302

Las aguas servidas corresponden al 90% del consumo diario de agua potable o factor de recuperación (FR) de 0,9 (29)



*Promedio de caudales de inodoros de igual zona climática de Tabla N°7.

Figura 1. Distribución diaria de aguas servidas por recinto, en países con similitud a Chile de tabla N°8.

(30) (el resto se consume o se pierde), resultando en 335 litros de agua potable para una vivienda promedio con 3 habitantes. Contrastando con las empresas ubicadas al norte del país, con EHE según tabla N°6, cuyo consumo promedio es de 127 litros/hab-día y multiplicando por FR y descontando el agua aportante del inodoro de 24 l/día (21% del total, según figura N°1), el valor queda en 270 litros/hogar-día, de agua gris efectiva.

Para las viviendas con menor poder adquisitivo y con bajo consumo, se propone eliminar el lavavajilla y la maquina lavadora, ya que no son artefactos esenciales para un hogar de estas características, obteniendo 174 l/día de agua gris y 225 l/día de aguas servidas, el inodoro representa ahora al 23%.

Replicando el criterio con las 3 empresas de las comunas más acomodadas en tabla N°6, consideradas de muy alto consumo, debido a que, en estos hogares, las áreas verdes tienen mayor superficie, por lo cual, mayor agua destinada a riego, se considera una recuperación de aguas servidas de solo el 80%.

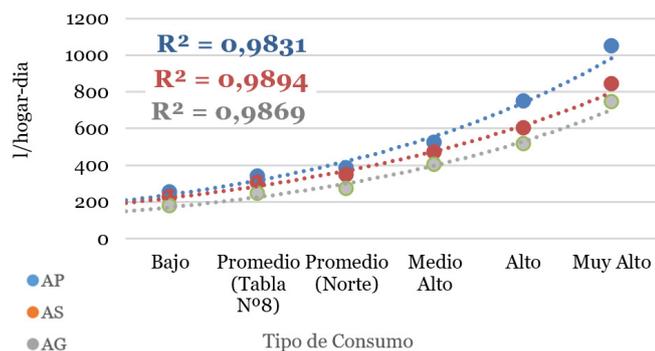


Figura 2. Línea de tendencia para encontrar la mejor correlación entre valores de agua gris, aguas servidas y agua potable.

Tabla 9. Resumen de porcentajes de aguas grises (AG), aguas servidas (AS) y agua potable (AP) en viviendas.

Tipo de Consumo l/hogar-día	AP	AS	AG	% AG dentro AS	% AG dentro AP
Bajo	250	225	174	77	70
Promedio países	335	302	240	80	72
Promedio (Norte)	381	343	270	79	71
Medio Alto	520	468	400	85	77
Alto	750	600	515	86	69
Muy Alto	1047	838	740	88	71

En gris valores obtenidos de los estudios consultados

En la figura N°2 y tabla N°9, se agregó a los resultados obtenidos por la investigación, valores intermedios de consumo, para poder obtener la mejor correlación entre tendencias, de esta forma se disminuyó la brecha entre los consumos de hogares promedio y muy alto. Los resultados, están dentro del rango evidenciado en la literatura en diferentes países (4)(7).

3.3. Agua gris y agua caliente sanitaria (ACS)

Para encontrar otra variable que permita poder obtener caudales de diseño de aguas grises, se evalúan algunas normas de ACS de uso internacional, ya que estos flujos de agua, forman parte de los volúmenes de agua gris en un 100%.

La Guía Técnica de ACS Central (33), menciona los documentos básicos de higiene y salubridad de suministro de agua (DB HS4), que indica los consumos para un hogar de ingresos medios de 3 personas, el ACS corresponde a 90 l/día en una vivienda unifamiliar. Luego se utiliza el código ASPE (34) (American Society of Plumbing Engineers), sus valores se muestran en tabla N°10.

Tabla 10. Demanda de ACS para varios tipos de construcciones, 2007 ASHRAE Handbook-HVAC Applications (34).

Tipo de construcción	Máximo horario	Máximo diario	Promedio diario
Dormitorio (l/estudiante)	14	83	50
Dormitorio damas (l/estudiante)	19	100	47
Motel (N° habitaciones)			
20 o menos (l/unidad)	23	132	76
100 o más (l/unidad)	15	57	38
Asilo de ancianos (l/cama)	17	114	70
Edif. de Oficinas (l/persona)	2	8	4
Restaurantes (l/comida-h)	6	42	9
Comida rápida (l/comida-h)	3	23	3
Departamentos (N° unidades)			
20 o menos (l/unidad)	45	303	159
Escuelas (l/estudiante)	2	6	2

El ACS de un departamento u hogar de 3 personas de ingresos medios, resulta de 159 l/hab-día, obtenido de la tabla anterior. El estudio REU1999, indica que el 39.6% del uso total de agua en el hogar es ACS, mientras tanto, el estudio actualizado REU2016 (28), en una submuestra de 94 hogares, evidenció una reducción en el uso de ACS en el hogar, que fue de 172 l/hogar/día, que representó el 33.2% del uso total del agua potable.

Se puede definir, que el volumen de ACS, representa aproximadamente 1/3 del volumen diario de agua potable y cerca de la mitad del volumen de agua gris en un hogar, ver la tabla N°11.

Tabla 11. Porcentaje de ACS en el agua gris (AG).

	AG l/día	ACS l/día	%	AP l/día	%
(33) DBHS4	240	90	37,5	335	26,9
(34) ASPE	240	159	66,3	335	47,5
(28) REU2016	240	173	33,2	522	33,2
Promedio			46		36

3.4. Tecnologías para tratamiento de agua gris

El objetivo clave en el tratamiento, es lograr una calidad de agua apropiada para el uso previsto. Otros fines son el color y olor (6).

Las tecnologías aplicadas normalmente incluyen procesos físicos, químicos y biológicos. Los procesos físicos más comunes son; los filtros de arena y de membrana. Los químicos incluyen la coagulación, oxidación foto catalítica, intercambio iónico, etc., estos son de mayor complejidad y costo, por ello, no se abordan en este estudio. Los tratamientos biológicos incluyen; el reactor ascendente, humedales y bio reactores de membranas (14), en general todos seguidos por desinfección.

3.4.1. Tanque séptico

Consiste en una separación sólido-líquido que reduce las partículas y grasa en el efluente. Según WHO (35), es la unidad

de pretratamiento más común para aguas grises. Su tiempo de retención hidráulica (TRH) no debe exceder las 24 horas (5)(13). Al utilizar como trampa de grasa, el TRH es del orden de 15 a 30 min, con un volumen mínimo de 200 a 300 litros, logrando remover hasta el 70% de aceites y grasas (8).

3.4.2. Filtración

Elimina partículas, sólidos y componentes disueltos, también pueden eliminar algunos de los patógenos más grandes, como los quistes de protozoos, los más pequeños, como bacterias o virus, se eliminan con tamaño de poros menores (6).

El uso de membranas de MF (microfiltración) y UF (ultrafiltración) tiene un costo mayor de 1.5 a 2 veces al de los sistemas tradicionales, debido a los costos de energía y equipos (6). Los costos de NF (nanofiltración) y RO (osmosis reversa) son sustancialmente más altos (14). Las membranas de UF, NF y RO, pueden lograr la eliminación del virus si no tienen defectos. Son buenos disminuyendo turbidez, sólidos suspendidos y coliformes totales (36).

3.4.3. Biofiltración

En la filtración biológica se permite que un filtro de medio granular sea biológicamente activo, lo cual, mejora el rendimiento del tratamiento más allá de la eliminación de partículas (6).

a. Filtración lenta de arena

Es uno de los procesos físicos y biológicos de tratamiento más antiguos, utiliza arena de pequeño diámetro con bajas tasas de carga superficial (6).

b. Filtración de velocidad rápida

Usa medios de mayor diámetro, mayormente arena de 0,4 a 1,2 mm y tasas de carga superficial unas 100 veces mayor que la filtración lenta. Estos sistemas disminuyen la turbidez y DQO (4).

c. Reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB)

En el UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) el líquido se pone en contacto con una altísima concentración de lodos, llamado "manto de lodos". Aquí hay procesos de filtración biológica, absorción y adsorción, al mismo tiempo que decantación. El TRH es de unas 19 horas (36), periodo permite la proliferación de bacterias anaeróbicas, con la consecuente producción de biogás (CH₄ y CO₂) (37).

d. Bioreactor de membrana (MBR)

Combina el tratamiento biológico (aireación) y sistema de micro o ultrafiltración. La membrana se usa en lugar de un tanque séptico, para separar los sólidos del líquido después del tratamiento biológico, y así evitar pérdida de sólidos biológicos en el efluente (12). Este efluente, cumple con los más estrictos estándares de calidad, sin necesitar filtración o desinfección posterior, su implementación ideal es en viviendas colectivas (14)(35).

3.4.4. Desinfección

La desinfección es crucial en cualquier esquema. Se diseña para inactivar microorganismos, incluidos; virus, bacterias, oocistos, quistes de protozoos y helmintos. El método más común es la cloración, una alternativa bien probada es la UV (6)(37)(38).

Se ha demostrado que las partículas en suspensión proporcionan protección a las bacterias y virus contra la inactivación, por lo cual es clave reducirlos (6)(39). La eficacia de los desinfectantes se mide típicamente como $C \times t$, que es el producto del cloro residual (mg/l) por el tiempo de contacto en minutos (37)(38).

a. Cloración

La especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HOCl) (37) (38). Tanto HOCl, como el ión hipoclorito (OCl⁻) están presentes hasta cierto punto cuando el pH varía entre 6 y 9. La eficacia del HOCl es por lo menos 40 a 80 veces mayor al OCl⁻ (37).

La bibliografía indica concentraciones entre 0.5 y 1.5 mg/l de cloro residual (38). En sistemas pequeños, se pueden usar tabletas de hipoclorito de sodio (NaClO) y una cámara de contacto de tamaño que permita una retención mínima de 30 minutos (39).

Como alternativa a las tabletas, se puede utilizar cloro doméstico (hipoclorito de sodio disuelto en agua). La concentración que se ofrece en el mercado chileno varía entre 2,5 y 8% (40).

b. Desinfección ultravioleta

El rango germicida es el UVC, con longitud de onda entre 240 – 280 nm que son fuertemente absorbidos por los ácidos nucleicos. Su mecanismo de desinfección tiene relación con la inactivación de los ácidos nucleicos en los microorganismos, debido a que el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico) llevan la información genética usada en la reproducción (7)(37)(38). Estudios indican que el daño causado por 1 mJ/cm² de radiación, es reparado por la célula de *E. coli* en 30 minutos, demostrando que la intensidad UV es determinante (37).

3.4.5. Sistemas naturales

Tienen gran potencial para reducir o eliminar patógenos, carbonos orgánicos, contaminantes de interés y nutrientes. En ellos el agua pasa lentamente a través de la grava, raíces y rizomas de la vegetación plantada (35). La limpieza del agua contaminada por procesos biológicos, también de llama fitodepuración (7).

a. Humedales construidos

Los horizontales, son estanques artificiales poco profundos con vegetación y macrófitos, con un medio poroso con suficiente conductividad hidráulica. Suelos de baja conductividad como limo o arcillas, tienen un alto riesgo de obstrucción (35) (41). Mientras los de flujo vertical, son en realidad filtros de arena con plantas superficiales, es un método bien probado y adecuado para el tratamiento, pero no tan eficiente (35).

La eliminación de contaminantes se produce por procesos físicos, químicos y microbiológicos (41), remueve cerca del 90% de DBO en TRH de 4 a 5 días (35). Tiene bajo costo de operación (37) y amigable con el medio ambiente (7)(36).

b. Plantas utilizadas en humedales construidos.

Los macrófitos usados con frecuencia, son plantas emergentes, sumergidas, de hojas flotantes y de flotación libre. La más frecuente en Europa y Asia es la Phragmites australis, la

Typha latifolia en Norte América, Cyperus papyrus en África, P.australis y Typha domingensis en América Central y Sur, y Scirpus validus en Oceanía (41)(42). En algunos casos, pueden utilizarse especies ornamentales tales como, Zantedeschia aethiopica (Cala), Strelitzia reginae (Ave del paraíso), Anthurium andraenum (Flor de flamenco), Agapanthus africanus (Agapan-to) y Hemmerocallis dumortieri (Lirio de día) (42).

En la tabla N°14 y después del análisis de las tecnologías de tratamiento y sus respectivos cálculos, se seleccionan los ele-

Tabla 12. Rendimiento de humedales construidos en un sistema de tratamiento de aguas grises.

PARÁMETRO	HUMEDAL CONSTRUIDO						
	Horizontal						Vertical
	(20) Jordania	(43) Malasia	(39) Reino Unido	Gross et al. 2007a	(7) Marruecos	(8)	(8)
Turbiedad (NTU)		45%	100%	100%	88%		
Escherichia coli		51%				2-3 log	1-2 log
Sólidos en suspensión (mg/l)	50-80%	60%	69-93%	98%	90%	80-95%	65-85%
DQO (mg/l)	70-90%	85%	66-93%	81%	89%		
DBO ₅ (mg/l)		81%	90-96%	100%	87%	80-90%	75-85%

a Citado por (12)

Tabla 13. Rendimiento de componentes de un sistema de tratamiento de aguas grises.

PARÁMETRO	TANQUE SEPTICO				FILTRO DE ARENA			EFICIENCIA UASB		
	(20) Jordania	(8) Malasia	(19) Jordania	CSAG UTEM 2019	(20) Jordania	(8) Jordania	(14)	(24) Brasil	(20) Jordania	(14)
Turbiedad (NTU)				94%			66%	88%		
Coliformes Totales				1-log		1-2 log				
Aceites y grasas (mg/l)		70%		98%		70%		100%		
Sólidos en suspensión (mg/l)	65%	80%	54%	99%		50-80%	58%	77%		
DQO (mg/l)	45%		71%		80%			72%	70-90%	41-50%
DBO ₅ (mg/l)	48%	80%	89%	96%	90%	50-80%		73%		

Tabla 14. Matriz propuesta para la selección de componentes.

Tipo de carga contaminante		Pre Tratamiento		Elementos mínimos de tratamiento a utilizar				
		Tanque Séptico	CSAG ^a	Filtro de Arena	Membrana	MBR o UASB	HC ^b	Desinfección
Unifamiliar	Muy Alta ^c	XX	XX	X		XA		XX
	Alta	XX		XA	XP		X	X
	Media	XX		XA			X	XP
	Baja	XP		X			XA	XP
Multifamiliar	Muy Alta ^c	XX	XX	XXA	XXA	X	XA	XX
	Alta	XX		XXA	XXA	X	XA	XX
	Media	XX		XA			X	XP
	Baja	XX		X			XA	XP
XX Obligatorio			XXA Uso conjunto con la alternativa					
X Tratamiento 1ª opción			XP Opcional, dependiendo del uso final					
XA Alternativa a 1ª opción								

^a Cámara Separadora de Aceites y Grasas

^b Humedal Construido

^c Efluente proveniente de cocinas

mentos más apropiados para el tratamiento, esta tabla considera los rendimientos promedio de cada componente de las tablas N°12 y 13, para lograr un efluente de óptima calidad, según los valores propuestos en tablas N°3 y 4, considerando las caracterizaciones de agua gris en las tablas N°1 y 2.

3.5. Recomendaciones de aplicación

Definir la fuente de abastecimiento y sus parámetros contaminantes, en tablas N°1 y 2, en caso de contar con un análisis de efluente, ocupar el análisis. Luego determinar la disposición final y el estándar de calidad propuestos en tablas N°3 y 4.

Identificar el tipo de consumo, si es alto o bajo por ejemplo, además de tener claridad de la cantidad de habitantes para definir los volúmenes de diseño, ver tablas N°9 y 11.

Seleccionar la tecnología de tratamiento y alternativa de desinfección de tabla N°14.

Para el abastecimiento y disposición final, importa el porcentaje y aporte diario de cada artefacto, ver tabla N°8 y figura N°1, las cuales son útiles para estimar los caudales de agua no tratada y tratada, para dimensionar redes de distribución y equipos.

Otras consideraciones:

- Adaptación al entorno, en caso de seleccionar humedales construidos, seleccionar las plantas que más se adecuen a la calidad del efluente y zona climática (salinidad), o bien al valor paisajístico circundante.
- Adaptación constructiva, en edificios con un coeficiente de constructibilidad alto, seleccionar sistemas compactos, de alta eficiencia y aislados (alejado de la población).

4. CONCLUSIONES

Según la metodología planteada, las principales conclusiones que se puede extraer son las siguientes:

5. REFERENCIAS

- (1) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017) Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe, Estado, principios y necesidades, Capítulo 1; Contexto de la Reutilización de Aguas Residuales Municipales en América Latina y el Caribe. ISBN: 978-92-5-309906-1. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7748s.pdf>
- (2) Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH). (2013) Seminario Internacional, Alternativas Hídricas para la Macrozona Norte. Tema 5 Reúso: "Principios y Alcances en Chile", Tema 6 Reúso: "Experiencia en España".
- (3) Chile - Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2016). Informe de Gestión del Sector Sanitario. Recuperado de http://www.siss.gob.cl/586/articles-16848_recurso_2.pdf
- (4) Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Charchousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., Mantziaras, I., Koumaki, E. (2018). Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse, *Journal of Environmental Management*, Volume 216, Pages 337-346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.094>
- (5) Triumphal, R. (2012). Regulatory issues associated with graywater reuse (Tesis maestría), Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University. Recuperado de <https://mountainscholar.org/handle/10217/68106>
- (6) US Environmental Protection Agency (USEPA). (2012). Guidelines for Water Reuse. Washington, DC. Recuperado de <https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1530.pdf>
- (7) J. Laaffat, F. Aziz, N. Ouazzani, L. Mandi (2017) Biotechnological approach of greywater treatment and reuse for landscape irrigation in small communities, *Saudi Journal of Biological Sciences*, Volume 26, Issue 1, 2019, Pages 83-90, ISSN 1319-562X, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.01.006>
- (8) Morel, A. and Diener, S. (2006). Environmental management in low and middle income countries: Review of different treatment systems for households or neighbourhoods, 14/06, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. ISBN: ISBN: 3-906484-37-8

- Se logra identificar una no menor cantidad de sistemas para la reutilización de aguas grises, que cumplen con las características principales de ser con bajo costo de construcción, operación y mantenimiento y que es imprescindible considerar el pretratamiento para evitar la obstrucción al elemento de tratamiento posterior.
- La matriz, según la investigación realizada, reúne todas las aristas involucradas para la selección de sistemas de tratamiento, asegurando calidad en el efluente.
- Los resultados obtenidos en este estudio indican que las características de las aguas grises en hogares, son similares en zonas áridas a nivel global.
- El porcentaje de aguas grises en comparación con el consumo de agua potable responde a lo señalado en la literatura, en cambio, el porcentaje de ACS, es una nueva alternativa para obtener consumos de agua gris a falta de información.
- En términos de rendimiento, operación y mantenimiento, el humedal, es la mejor tecnología; ecológica, rentable y también ornamental, pero no es adecuada para ser aplicado en las áreas urbanas con poca extensión de terreno, si es recomendable en zonas rurales, ya que estas cuentan con una mayor extensión de terreno.
- No es recomendable reutilizar las aguas provenientes de cocina por su muy alta carga contaminante, ya que encarecen la solución de tratamiento, esto se puede apreciar evidentemente en la tabla N°1, donde los largos periodos de retención, ocasiona que se necesite una mayor cantidad de oxígeno para la degradación biológica, igual mayor DBO.
- Los procesos biológicos como el MBR con filtración y/o desinfección, son considerados como, la solución ideal para edificios con gran cantidad de habitantes.

En este estudio se ha propuesto una metodología para la reutilización en vivienda uni y multifamiliares, lo cual no restringe la posible utilización en otro tipo de edificaciones. A futuro se esperan las validaciones correspondientes a esta metodología propuesta a través de la ejecución de estos elementos, medición y análisis de los efluentes tratados.

- (9) AQUA España (2016). Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de Aguas Grises en Edificios, Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas. Recuperado de <https://www.aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf>
- (10) Berdegú, J. Jara, E. Modrego, F. Sanclemente, X. y Schejtman, A. (2010). "Comunas Rurales de Chile". Documento de Trabajo N° 60. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Rimisp-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, Santiago, Chile. Recuperado de <https://www.rimisp.org/documentos/comunas-rurales-de-chile-2/>
- (11) Chile - Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MINDESARROLLO). (2017), Encuesta CASEN, Pag.119. Recuperado de http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2017/Resultados_pobreza_Casen_2017.pdf
- (12) Ghaitidak, Dilip & Yadav, Kunwar. (2013). Characteristics and treatment of greywater—A review. Environmental science and pollution research international. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0>
- (13) Rodda, Nicola & Carden, Kirsty & Armitage, Neil. (2010). Sustainable Use of Greywater in Small-Scale Agriculture and Gardens in South Africa Technical Report. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260319237_Sustainable_Use_of_Greywater_in_Small-Scale_Agriculture_and_Gardens_in_South_Africa_TECHNICAL_REPORT/link/54352be70cf2bf1f281cb5/download
- (14) Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for greywater treatment and reuses. Science of the Total Environment, Volume 407, Issue 11, pages 3439-3449, ISSN 0048-9697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>
- (15) Ley Chile (2018) Ley Núm. 21.075 Regula la Recolección, Reutilización y Disposición de Aguas Grises, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, 15 de Febrero de 2018. Recuperado de <http://bcn.cl/23see>
- (16) Rioseco, Reinaldo y Tesser, Claudio : Cartografía Interactiva de los climas de Chile [en línea]. Instituto de Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2020). Recuperado de http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva/
- (17) Alarcón, M., Zurita, F., Lara J y Vidal G. (2018). Humedales de Tratamiento, Alternativa de Saneamiento de Aguas Residuales aplicable en América Latina, ISBN 978-958-781-235-0. Recuperado de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2018/06/humedales-de-tratamiento-alternativa-de-saneamiento-de-aguas-residuales-aplicables-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- (18) Franco, M. (2007) Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile (Tesis de Pregrado), Universidad de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104596>
- (19) Al-Hamaiedeh, H.D., and Bino, M. (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. Desalination, 256(1-3), 115-119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.004>
- (20) Halalshah, M., S. Dalahmeh, M. Sayed, W. Suleiman, M. Shareef, M. Mansour, and M. Safi. (2008). Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. Bioresource Technology, 99: 6635–6641. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.029>
- (21) Andreadakis, Andreas & Noutsopoulos, Constantinos & Mantziaras, Ioannis & Kouris, N. (2015). Grey Water Characterization and Treatment. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283686808_Grey_Water_Characterization_and_Treatment/link/56433c4708ae451880a326d9/download
- (22) Hong Kong - Water Supplies Department (WSD). (2015) Technical Specifications on Grey Water Reuse and Rainwater Harvesting, Special Administrative Region. Recuperado de https://www.wsd.gov.hk/filemanager/en/content_1177/technical_spec_grey_water_reuse_rainwater_harvest.pdf
- (23) UK Environment Agency. (2011). Greywater for domestic reuse: An Information Guide. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ENVIRONMENT%20AGENCY%202011%20Greywater%20for%20Domestic%20Users.pdf
- (24) do Couto, E., Calijuri, M., Peixoto, P., da Fonseca, A., Sampaio, L. (2015). Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative, Journal of Cleaner Production, Volume 106, Pages 372-379, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.065>
- (25) España - Fundación Ecología y Desarrollo Barcelona (2005) Ordenanza Tipo para el Ahorro de Agua. Xarxa de Ciutats i Pobles cap a la Sostenibilitat. Grupo de trabajo Nueva Cultura del Agua, España. Recuperado <https://ecodes.org/docs/ordenanza-agua.pdf>
- (26) Chile – Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2005). Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados Para Uso en Riego, Informe Final, Gobierno de Chile. División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile. Recuperado de http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf
- (27) Karnapa Ajit (2016). A Review on Grey Water Treatment and Reuse", International Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 3, No. 5, pp. 2665-2668. Recuperado de <https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5551.pdf>
- (28) DeOreo, W. Mayer, P. B, Dziegielewski, J, Kiefer (2016). Residential End Uses of Water, Version 2, Water Research Foundation. Recuperado de https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/ETS/Resources/WaterConservationResidential_End_Uses_of_Water.pdf?ver=2016-04-14-135024-200
- (29) Chile – Instituto Nacional de Normalización (2019) Norma Chilena 1105; Ingeniería sanitaria - Alcantarillado de aguas residuales - Diseño y cálculo de redes
- (30) New Delhi (2013) Ministry of Urban Development, Manual on sewerage and sewage treatment system, Third Edition, Chapter 8 :decentralized sewerage system. Recuperado de http://cpheeo.gov.in/upload/uploadfiles/files/engineering_chapter8.pdf
- (31) Chile - Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2016), Estándares de Construcción Sustentable Para Viviendas de Chile Tomo III Agua, Estrategias de Reutilización. ISBN: 978-956-9432-54-5. Recuperado de http://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/ECSV_3.pdf

- (32) Madungwe, E. & Sakuringwa, S. (2007). Greywater reuse: A strategy for water demand management in Harare? *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 32(15-18), p. 1231-1236, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.07.015>
- (33) España – Ministerio para la Transición Ecológica, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). (2010). *Guía Técnica Agua Caliente Sanitaria Central*. ISBN: 978-84-96680-52-4. Recuperado de <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-agua-caliente-sanitaria-central>
- (34) American Society of Plumbing Engineers (ASPE, 2018). *Domestic Hot Water Systems CEU255: Continuing Education*. Recuperado de https://aspe.org/sites/default/files/webfm/ContinuingEd/CEU_255_Jan18.pdf
- (35) World Health Organization (WHO, 2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume IV, Excreta and Greywater Use in Agriculture*. WHO Press, World Health Organisation, Geneva.
- (36) Pidou, M., Memon, F. A., Stephenson, T., Jefferson, B. and Jeffrey, P. (2007). Grey water recycling: treatment options and applications. In: *Proceedings of Engineering Stability, Institute of Civil Engineers Vol 160*, p. 119-131. doi: <https://doi.org/10.1680/ensu.2007.160.3.119>
- (37) Vidal, Gladys & Araya, Francisca. (2014). *Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos*. Ediciones Universidad de Concepción. ISBN: ISBN 978-956-227-378-7. <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/las-aguas-servidas-y-su-depuracion-en-zonas-rurales-situacion-actual-y-desafios.pdf>
- (38) México - Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2007) *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Desinfección Para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*, Gobierno de México. ISBN: 978-607-626-023-4.
- (39) Gideon P. Winward, Lisa M. Avery, Tom Stephenson, Bruce Jefferson (2008) Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles, *Water Research*, Volume 42, Issues 1–2, 2008, Pages 483-491, ISSN 0043-1354, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.042>
- (40) Alexis Diomedi, Eliana Chacón, Luis Delpiano, Beatrice Hervé, M. Irene Jemenao, Myriam Medel, Marcela Quintanilla, Gisela Riedel, Javier Tinoco y Marcela Cifuentes (2017) *Antisépticos y desinfectantes: apuntando al uso racional*. Recomendaciones del Comité Consultivo de Infecciones Asociadas a la Atención de Salud, Sociedad Chilena de Infectología, *Revista chilena de infectología vol.34 no.2*, doi: <https://doi.org/10.4067/S0716-10182017000200010>
- (41) Wu, Haiming & Zhang, Jian & Hao Ngo, Huu & Guo, Wenshan & Hu, Zhen & Liang, Shuang & Fan, Jinlin & Liu, Hai. (2014). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Biore-source technology*. 175C. 594-601, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.068>
- (42) Morales, G., López, D., Vera, I., Vidal, G. (2013). *Humedales Construidos con Plantas Ornamentales Para El Tratamiento de Materia Orgánica y Nutrientes Contenidos en Aguas Servidas*. *Theoria*, 22 (1), 33-46. ISSN: 0717-196X. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29936198004>
- (43) Ahmed, Anwar & Radin Mohamed, Radin Maya Saphira & Halim, Siti & mohd kassim, Amir Hashim & Hamdan, Rafidah. (2015). Sustainable Extensive On-Site Constructed Wetland for some Bacteriological Reduction in Kitchen Greywater. *Applied Mechanics and Materials*. 773-774. 1199-1204, doi: [doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1199](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1199)