



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

ESTUDIO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
GRISES EN REÚSO DIRECTO: CASO CLUB PROVIDENCIA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

OSCAR JOAQUÍN CONTARDO OLATTE

PROFESORA GUÍA:
ANA LUCÍA PRIETO SANTA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GERARDO AHUMADA THEODULOZ
ADOLFO OCHOA LLANGATO

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: OSCAR JOAQUÍN CONTARDO
OLATTE
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: ANA LUCÍA PRIETO SANTA

ESTUDIO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN REÚSO DIRECTO: CASO CLUB PROVIDENCIA

El estudio nace a partir de una competencia realizada por el Club de Innovación, la cual buscaba reducir un 10% el consumo de agua potable en regadío en la comuna de Providencia, traduciéndose en una disminución de 185,81 m³/d, proponiéndose como solución, la implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises en el Club Providencia, siendo este el objetivo principal del presente documento.

Se presentan las principales características del área de trabajo a considerar en la comuna de Providencia, particularmente en torno al uso de agua para aseo y ornato. También se recopila la información pertinente para dimensionar la cantidad de aguas grises que se produce en el Club Providencia, la cual alcanza su caudal máximo en los meses de verano con 94,6 m³/d, utilizando un modelo de estimación.

Para elegir las alternativas de tratamiento, se revisaron los métodos que más comúnmente se utilizan para tratar aguas grises, los que tienden a ser descentralizados. Se elige evaluar la utilización de un humedal construido con dos alternativas de tratamiento biológico: cloración y radiación Ultravioleta. Por otro lado, se evalúa implementar un sistema prefabricado especializado para el tratamiento de aguas grises.

En primer lugar, la implementación de un humedal construido presenta la limitante de no ser capaz de tratar toda el agua de la que se dispone para asegurar un tratamiento correcto, por lo que el caudal máximo tratable es solamente de 54,27 m³/día. Los costos de inversión inicial son bastante elevados, del orden de los 577,37 UF (21.073.000 CLP, a noviembre de 2023), pero los costos de operación y mantenimiento permanecen bajos en el tiempo por la poca complejidad que presenta, tanto para la opción

En segundo lugar, la planta de tratamiento de aguas grises prefabricada (marca Azud Watertech) es capaz de tratar todo el caudal disponible que se genera en el recinto. El costo de inversión inicial es de 176,1 UF (6.426.561 CLP a septiembre de 2023), pero los costos de operación son muy elevados por la energía consumida. El mayor problema presentado fue el desconocimiento de los consumibles al mes, por lo que no se pueden estimar los costos operacionales o de mantenimiento con certeza.

Finalmente, se ve que la comparación económica entre cada uno es incierta, pero el sistema prefabricado es más eficiente tanto en términos de espacio, inversión inicial, cantidad de agua a tratar y facilidad de implementación.

The chances look small

The choices look grim

But everything you learn there

Will help when you return there

The light is getting dimmer—

I think I see a glimmer...

-Stephen Sondheim, Into the Woods

Agradecimientos

A mis amigos, mis Panecillos, Hugo, Isis, Martín, Octavio, por siempre darme el apoyo, el ánimo, las ganas y los consejos para seguir adelante cuando creía que ya no podía. Por hacer las preguntas necesariamente incómodas y por no darse por vencidos conmigo cuando yo estuve listo para rendirme. Por ser mi escape del mundo real, por siempre hacerme sentir acompañado. Espero poder devolverles en esta vida siquiera una fracción de todo el cariño que me han entregado. Los quiero más de lo que puedo expresar en palabras.

A mis amigos del colegio (y asociados), Javi, Caro, Maca, Max B., Diego, Max L., Joaco. Por ser mi cable a tierra, por todas las tardes y conversaciones de todos los temas existentes. Por escucharme, incluirme, dejarme ser yo. Por las leseras groupies que hemos hecho. No sé cómo expresar mi cariño y agradecimiento por ustedes.

A todos los amigos que hice en mi tiempo en la universidad, desde plan común, pasando por Industrias y llegando a Hidráulica, no sería nada sin su apoyo. Guille, Gabi, Danis, Feña, Vicky, Cata, Martín, Cami, Walla, y todas las personas que también están en ese grupo con nombre problemático en WhatsApp.

David, Alfonso, Sywoei, Don Claudio, Sra. Marialba, y a todos mis amigos y compañeros inesperados en RutaSur, por alentarme en nuestros almuerzos, siempre atentos a mis avances y ayudándome con mis presentaciones durante el semestre, guiándome, enseñándome a ser un adulto medianamente funcional.

A la profe Ana, por acogerme y alentarme cuando me vio a principio de año, por hacerse un tiempo en su incansable agenda para incluir otro trabajo aun cuando estaba en Alemania. Por siempre hacerme sentir como que este trabajo era algo que podía sacar adelante en los tiempos que tenía.

A mi familia, a la parte que alcanzó a darse cuenta de mis problemas y la que no, por apoyarme, alentarme, sacarme adelante. Mamá, papá, no saben lo mucho que aprecio todo lo que hacen siempre por mí y por el resto de la familia, vivo siempre con admiración por ustedes. Gracias por enseñarme a enfrentar la vida con cordialidad y con cariño, con mi mejor sonrisa por delante. Feña, cuando sea que leas esto (si es que alguna vez lo lees), estoy muy orgulloso de ti, de tu fortaleza, y estoy seguro de que vas a lograr lo que tú quieras en la vida. A mis gatitos, León (Q.E.P.D.) y Nilo, los quiero mucho, aunque no me pesquen.

Finalmente, gracias a este proceso, que me mostró de lo que soy capaz, a tropezones, a rastras, pero capaz. Supongo que a mí.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1 Caracterización de la zona de estudio	2
1.2 Aguas Grises	7
1.2.1 Reutilización de aguas grises	8
1.2.2 Tratamiento de aguas grises	12
1.2.3 Soluciones en base a tecnologías verdes	14
1.2.4 Soluciones modulares o prefabricadas	15
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo General	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
2. Metodología	18
2.1 Demanda hídrica de Comuna de Providencia	18
2.2 Demanda hídrica del Club Providencia	18
2.2.1 Estimación de producción de aguas grises	19
2.2.2 Caracterización de las aguas grises a tratar	21
2.3 Sistemas de tratamiento	22
2.3.1 Objetivos de tratamiento para los sistemas	22
2.3.2 Dimensionamiento de las soluciones	23
2.4 Factibilidad de aplicación de los sistemas	35
3. Resultados y discusión	36
3.1 Demanda hídrica del Club Providencia	36
3.1.1 Estimación de producción de aguas grises	36
Alternativa A	36
Alternativa B	37
3.2 Sistemas de Tratamiento	39
3.2.1 Cámara Desgrasadora	39
3.2.2 Sistema humedal construido + cloración/Tratamiento UV	40
3.2.3 Sistema Prefabricado	49
4. Conclusiones	53
Bibliografía	55
Anexo	58
A. Consumo Medido de Agua	58
B. Estimación de Caudales por Alternativa	60
C. Especificaciones para dosificación UV	63

Índice de Figuras

Figura 1.1: Mapa de áreas verdes de Providencia (Fuente: Municipalidad de Providencia, 2022).....	2
Figura 1.2: Consumo 2022 en irrigación en comuna de Providencia (Adaptado de Desafío Urbano Escúrrete, 2023).....	4
Figura 1.3: Sectores del Club Providencia (Elaboración Propia).....	5
Figura 1.4: Esquema de bioreactor de membrana. (Recuperado de Lenntech, 2023)...	13
Figura 1.5 Esquema de humedales de flujo vertical (izquierda) y flujo horizontal (derecha).....	15
Figura 2.1: Área verde equivalente a disminuir consumo en 10%.....	18
Figura 2.2: Área disponible en Club Providencia.....	23
Figura 2.3: Esquema de tratamiento propuesto para humedal construido.	25
Figura 2.4: Ejemplo de diseño de cámara desgrasadora por gravedad. (Fuente: Paso Robles, 2021).....	26
Figura 2.5: Configuraciones de humedal para una misma área con (a) 1 celda, razón 2:1 (b) 3 celdas, razón 1:2 y (c) 6 celdas, razón 1:1. (Recuperado de Kadlec & Wallace, (2009))	29
Figura 2.6: Diagrama de flujo esquemático para clorador presurizado (Adaptado de Metcalf y Eddy, 2013).	32
Figura 2.7: Tipos de configuraciones para desinfección por radiación UV para tuberías (Metcalf & Eddy, 2013).	33
Figura 3.1: Comparación de tendencia del volumen de aguas grises calculado v/s el volumen aproximado.....	38
Figura 3.2: Esquema disposición de elementos del sistema humedal construido-cloración.....	41
Figura 3.3: Esquema de tratamiento del sistema Azud GW DU5.....	49
Figura C.1: Especificaciones modelos BlueLagoon.....	63

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Utilización de agua potable en Providencia en el período 2017-2018 (Fuente: Municipalidad de Providencia, 2022).....	3
Tabla 1.2: Consumo de agua potable y asistentes mensuales 2022-2023 en Club Providencia – Sector Pocuro	6
Tabla 1.3: Consumo de agua potable y asistentes mensuales 2022-2023 en Club Providencia – Sector Jorge Matte.....	6
Tabla 1.4: Características de las aguas grises por origen.....	7
Tabla 1.5: Porcentaje de composición de aguas grises	8
Tabla 1.6: Estándares de reutilización de aguas grises internacionales	9
Tabla 1.7: Ejemplos de plantas de tratamiento de aguas grises prefabricadas.	16
Tabla 2.1: Valores de consumo de agua potable diario para empleados y visitantes a recintos	20
Tabla 2.2: Valores para aguas grises que ingresan al proceso de tratamiento.....	22

Tabla 2.3: Objetivos de tratamiento para reúso de aguas grises establecidos por el Ministerio de Salud de Chilel (2018).....	22
Tabla 2.4: Valores de constantes empíricas para eficiencia de remoción de DBO ₅ y SST.....	27
Tabla 2.5: Valores de constante de reacción para contaminantes.....	30
Tabla 2.6: Valores de concentraciones remanentes sugeridos por literatura.....	30
Tabla 2.7: Medios de soporte comúnmente utilizados en humedales construidos. (Delgado, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).....	31
Tabla 2.8: Dosis de radiación Ultravioleta requeridas típicas para la desinfección de aguas (Adaptado de Metcalf y Eddy, 2013).....	33
Tabla 2.9: Criterios a considerar para el análisis de las soluciones.....	35
Tabla 3.1: Número de artefactos asociados a los trabajadores del Club Providencia....	36
Tabla 3.2: Número de artefactos asociados a los visitantes del Club Providencia.....	37
Tabla 3.3: Valores adoptados para variables de Alternativa B.....	37
Tabla 3.7: Primera iteración áreas humedal construido para objetivos de tratamiento. .	40
Tabla 3.8: Consideraciones de espacio para sistema humedal construido-cloración	41
Tabla 3.9: Cálculo de concentración de coliformes fecales en efluente de Humedal Construido.....	42
Tabla 3.10: Resumen de costos y cantidades para sistema humedal construido-cloración.....	43
Tabla 3.11: Evaluación del sistema humedal construido propuesto.....	45
Tabla 3.12: Parámetros máximos de entrada del sistema Azud Watertech GW DU5....	49
Tabla 3.13: Parámetros de efluente sistema Azud Watertech GW DU5.....	50
Tabla 3.14: Evaluación del sistema con planta prefabricada.....	50
Tabla A.1: Consumo mensual de agua en Club Providencia sector Pocuro.....	58
Tabla A.2: Consumo mensual de agua en Club Providencia sector Jorge Matte Gormaz.....	59
Tabla B.1: Caudales de aguas grises generados en Club Providencia utilizando la Alternativa A.....	60
Tabla B.2: Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y consumo mensual medido (Alternativa A).	60
Tabla B.3 Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y caudal aprox. de aguas grises (Alternativa A).....	61
Tabla B.4: Caudales de aguas grises generados en Club Providencia utilizando la Alternativa B.....	61
Tabla B.5: Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y consumo mensual medido (Alternativa B).	62
Tabla B.6: Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y caudal aprox. de aguas grises (Alternativa B).....	62

1. Introducción

Desde hace aproximadamente 13 años, Chile atraviesa una megasequía que, en conjunto con los efectos del cambio climático, han llevado el tema de la escasez hídrica a un punto crítico, obligando a toda la ciudadanía a proponer y aplicar soluciones que puedan ayudar a aliviar las necesidades que se tienen en torno al consumo de agua potable.

La reutilización de aguas grises surge como una alternativa viable para enfrentar la crisis hídrica. Se trata de un proceso que permite recuperar las aguas residuales domésticas provenientes de lavamanos, duchas y lavadoras, para luego tratarlas y reutilizarlas en actividades que no requieren agua potable, como el riego de jardines, la limpieza de calles y el funcionamiento de inodoros. Este enfoque presenta una gran cantidad de beneficios, como disminuir la presión sobre las fuentes de agua potable, reducir la cantidad de aguas servidas que se vierten al sistema de alcantarillado, promueve la sostenibilidad y disminuir los costos en consumo de agua, entre otros (Boano, y otros, 2020).

Dentro de este contexto, la comuna de Providencia identifica la necesidad de disminuir su gasto hídrico en el riego de áreas verdes, por lo que se suman al desafío hídrico "Escúrrete". Escúrrete es un torneo desarrollado por el Club de Innovación, en el que se presentan 5 desafíos sobre el recurso hídrico para solucionar problemas urbanos, domésticos y en agricultura.

El desafío propuesto por la comuna de Providencia consiste en disminuir el uso de agua potable para riego en un 10%, entregando datos acerca de los consumos mensuales de agua para aseo y ornato y los principales problemas a los que se enfrentan cuando se realiza el riego, como suelos dañados por uso, dificultades de los regadores, costos por arriendo de camiones aljibes, entre otros.

Este informe explorará el potencial de la reutilización de aguas grises como una solución viable para ser aplicada en el Club Providencia. Se abordarán los siguientes aspectos:

- Caracterización de la zona de estudio
- Normativa y Marco legal aplicable para la reutilización de aguas grises
- Tecnologías y alternativas aplicables para el tratamiento de aguas grises
- Comparación de alternativas, ventajas y desventajas
- Propuestas para el desarrollo e implementación

La reutilización de aguas grises no solo representa una alternativa para enfrentar la escasez hídrica, sino que también puede contribuir a la creación de empleos y al desarrollo de una economía circular en la Región Metropolitana.

Este informe busca aportar información y análisis para fomentar la adopción de la reutilización de aguas grises como una medida necesaria para la gestión sostenible del agua en Chile.

1.1 Caracterización de la zona de estudio

Providencia es una comuna del sector nororiente de Santiago y limita con Recoleta y Vitacura al norte, Las Condes al este, Ñuñoa y La Reina al sur y Santiago al oeste. Cuenta con una superficie de 14,2km² de los cuales 0,26km² corresponden al lecho del río Mapocho y 0,63km² corresponden a áreas verdes como parques y plazas públicas (Figura 1.1). La comuna cuenta con un clima mediterráneo, el cual es típico de la zona central en Chile.



Figura 1.1: Mapa de áreas verdes de Providencia (Fuente: Municipalidad de Providencia, 2022)

Según el Censo 2017, la comuna tiene aproximadamente 142.000 habitantes, y tiene una población flotante de aproximadamente 2.000.000 de personas diarias. Durante el período 2017-2018, se estimó que el consumo de agua potable fue de 24.065.317m³ teniendo un uso residencial de un 59%, comercial de un 40% e industrial de un 1%, siendo los meses de mayor uso entre diciembre y mayo (Tabla 1.1).

Tabla 1.1: Utilización de agua potable en Providencia en el período 2017-2018 (Fuente: Municipalidad de Providencia, 2022)

Mes	Residencial [m ³]	Comercial [m ³]	Industrial [m ³]	Residencial [m ³]
Marzo 2017	1.236.768	902.464	14.58	2.153.812
Abril 2017	1.313.473	900.717	16.073	2.230.264
Mayo 2017	1.226.952	818.094	15.229	2.060.275
Junio 2017	1.057.970	721.126	16.395	1.795.491
Julio 2017	1.037.650	707.955	14.637	1.760.241
Agosto 2017	1.053.858	734.412	15.951	1.804.222
Septiembre 2017	1.026.629	726.954	15.224	1.768.808
Octubre 2017	1.071.432	740.53	15.576	1.827.538
Noviembre 2017	1.156.896	794.58	15.867	1.967.343
Diciembre 2017	1.277.929	855.783	15.847	2.149.559
Enero 2018	1.340.786	899.444	15.555	2.255.786
Febrero 2018	1.326.184	950.838	14.956	2.291.978
TOTAL ANUAL	14.126.527	9.752.897	185.89	24.065.317

En el sector municipal, más de la mitad del agua potable consumida al año va destinada al riego de áreas verdes y casi un 30% se utiliza en dependencias municipales o en recintos que son responsabilidad de la municipalidad. En particular, los años 2020 y 2021 se destinaron 751.678m³ y 723.867m³ respectivamente en Aseo y Ornato, referido al riego de áreas verdes e hidrolavado de pavimentos.

Dentro de los datos entregados por el Club de Innovación para el desafío Escúrrete, se ve el consumo para irrigación de áreas verdes para el año 2022 (Figura 1.2)

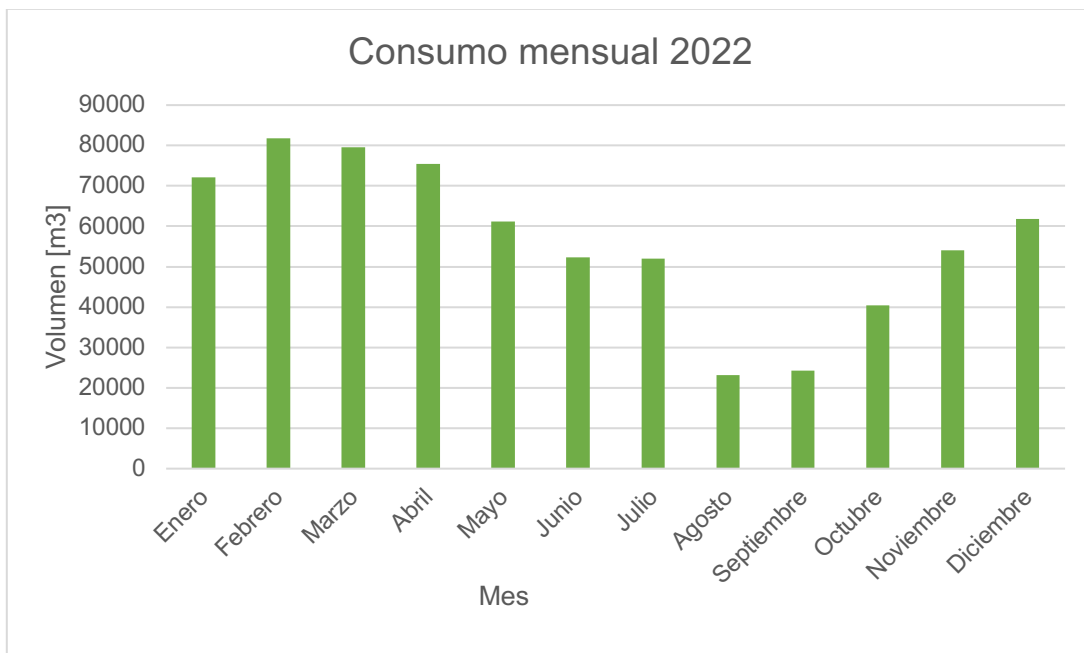


Figura 1.2: Consumo 2022 en irrigación en comuna de Providencia (Adaptado de Desafío Urbano Escúrrete, 2023)

Es en este contexto que se busca una solución alternativa a las operacionales y se propone instalar un sistema de tratamiento in-situ que permita tratar las aguas grises de edificios municipales, para poder integrarlas al sistema de riego de la comuna, disminuyendo la cantidad de agua potable que se consume mensualmente.

Con la finalidad de presentar una propuesta concreta, se ofrece la idea de instalar un sistema de tratamiento descentralizado en el Club Providencia. Se sugiere esta ubicación por dos razones principales:

1. Su cercanía al bandejón central de la calle Pocuro, el cual cuenta con un sistema de irrigación superficial por goteo.
2. Las variadas actividades realizadas dentro de este recinto que pueden aportar a la generación de aguas grises (Piscina, lavado de ropa, cocinas, duchas, etc).

En el inicio de la década de 1970, Providencia experimenta un aumento de su población, llevando a la planificación y mejoramiento de su equipamiento (Shi, Wang, & Jiang, 2018) urbano, desde obras viales a obras de arquitectura, siendo una de las más destacadas el 'Club Providencia', en ese entonces conocido como 'Estadio Municipal "Club Providencia"'. El terreno fue donado por la familia Cousiño de León con el objetivo de que los jóvenes del sector participasen en actividades recreativas y poder tener espacios para las celebraciones de la municipalidad (Club Providencia, s.f.). Al 2022, el club cuenta con aproximadamente 170 funcionarios que trabajan en las premisas diariamente (Municipalidad de Providencia, 2023).

El Club Providencia se inauguró el año 1981 y se encuentra ubicado entre las calles Avenida Pocuro (sur), El Vergel (norte), República de Cuba (oriente) y Jorge Matte Gormaz (poniente) dentro de la comuna de Providencia. El edificio multipropósito se encuentra ubicado en la misma cuadra junto al Club de Tenis de Providencia y cuenta con espacios de oficinas administrativas, bodegas, salones de eventos, salas para conferencias, canchas de bowling, piscina al aire libre y techada (dependiendo de la temporada), áreas verdes, multicancha techada, canchas de tenis, gimnasio, spa, baños, camarines, espacios de comedor, cocinas, lavanderías y más (Club Providencia, s.f.).

La distribución espacial de los edificios contenidos en la cuadra del Club Providencia obliga a desagregar los asistentes y las cuentas en 3 sectores distintos: Sector Pocuro, Sector Jorge Matte y el Club de Tenis (Figura 1.3). Cada sector lleva su propia cuenta de asistentes mensuales y tiene una cuenta de agua propia. En las tablas Tabla 1.2 y Tabla 1.3 se pueden observar los asistentes mensuales que presentan las partes del club entre enero del 2021 y abril del 2023. Cabe mencionar que, durante el año 2021, las restricciones por la pandemia de COVID-2019 seguían vigentes y se fueron quitando gradualmente hasta octubre del 2022, lo que se traduce en una cantidad de asistentes casi 2 órdenes de magnitud menores que las que se observan durante años posteriores.

El Club de Tenis de Providencia declinó las solicitudes de proveer datos de consumo mensual de agua, razón por la cual no se incluyen los datos en este estudio.



Figura 1.3: Sectores del Club Providencia (Elaboración Propia)

Tabla 1.2: Consumo de agua potable y asistentes mensuales 2022-2023 en Club Providencia – Sector Pocuro

Consumo	2022		2023	
	Consumo mes [m ³]	Asistencia Mensual	Consumo mes [m ³]	Asistencia Mensual
Enero	2.748	10.510	5.642	12.810
Febrero	4.760	5.848	6.394	14.775
Marzo	3.699	7.956	5.954	21.955
Abril	3.286	10.154	5.646	17.227
Mayo	2.119	13.006		
Junio	1.581	11.419		
Julio	1.564	10.333		
Agosto	2.034	16.077		
Septiembre	1.933	15.530		
Octubre	2.522	17.990		
Noviembre	2.954	19.226		
Diciembre	3.676	17.485		
TOTAL	32.876	155.534	23.636	66.767

Tabla 1.3: Consumo de agua potable y asistentes mensuales 2022-2023 en Club Providencia – Sector Jorge Matte

Consumo	2022		2023	
	Consumo mes [m ³]	Asistencia Mensual	Consumo mes [m ³]	Asistencia Mensual
Enero	1.900	1.449	1.978	10.478
Febrero	2.349	4.364	1.970	8.726
Marzo	2.096	7.764	2.142	11.622
Abril	1.780	7.408	2.601	10.504
Mayo	1.578	7.776		
Junio	1.623	7.209		
Julio	1.942	6.748		
Agosto	1.756	8.584		
Septiembre	1.596	7.587		
Octubre	3.532	8.468		
Noviembre	2.430	9.132		
Diciembre	3.138	10.860		
TOTAL	25.720	87.349	8.691	41.330

1.2 Aguas Grises

En la actualidad, con la finalidad de reducir el consumo de agua potable, se buscan fuentes de agua alternativas. Una de ellas son las aguas grises, una categoría que está definida como las aguas que vienen del uso de duchas, tinas, lavamanos, lavandería y lavaplatos, excluyendo explícitamente las aguas provenientes del inodoro (Ministerio de Obras Públicas, 2018).

Las aguas grises, a su vez, se pueden dividir en 2 otras sub-categorías (Albalawneh & Chang, 2015):

- Aguas Grises "Claras": Incluyen aguas con residuos como jabón, shampoo, pasta de dientes, residuos de rasurado, pelo, grasas corporales y bajas concentraciones de orina.
- Aguas Grises "Oscuras": Incluyen detergentes, lejía, aceites, pinturas, solventes, residuos de comida, altas cantidades de grasas y aceites y otros elementos no biodegradables.

Según su origen, las aguas grises presentan las siguientes características (Imhof & Mühlemann, 2005):

Tabla 1.4: Características de las aguas grises por origen

Origen	Características
Lavaplatos	-Contiene partículas de comidas, aceites y grasas -Bajas cantidades de coliformes -Altas cantidades de SST -Rápido crecimiento de microorganismos y descomposición. -Presencia de detergentes y espumas.
Duchas y tinas (y lavamanos)	-Pueden presentar coliformes. -Puede contener orina. -Puede contener productos de limpieza como jabón, shampoo, pasta de dientes, etc. -Baja demanda de oxígeno.
Lavadoras	-Contiene coliformes. -Contiene detergentes. -Alta turbiedad. -Alta salinidad y pH -Alta cantidad de sólidos suspendidos
Piscinas	-Altas concentraciones de microorganismos -Alta presencia de químicos (cloro, aceites, cosméticos, etc.) -Alta presencia de sólidos suspendido.

Se estima que, a una escala residencial o parecida, la cantidad de aguas grises que componen las aguas residuales de un recinto están entre un 50% y 80%, variando en un consumo diario de entre 30 y 150 litros por persona.

Según distintas fuentes, la composición de las aguas viene de los siguientes orígenes:

Tabla 1.5: Porcentaje de composición de aguas grises

Uso	Metcalfe & Eddy (2013)	CWRRI (2004)	AWWA (2015)
	Aporte [%]	Aporte [%]	Aporte [%]
Duchas y Tinas	45,5	30,0	26,5
Lavaplatos	4,7	23,3	22,7
Lavamanos	17,7	6,7	20,0*
Lavadoras	32,1	40,0	30,7
Total	100	100	100

*Considerado en "pérdidas y otros".

La calidad de las aguas grises dependerá caso a caso de variados factores, como las costumbres locales, disponibilidad del agua, condiciones climáticas, etc., pero generalmente son altamente biodegradables, presentando razones entre DBO₅ y DQO desde 0,3 hasta 0,7. Los contaminantes más comunes encontrados en aguas grises son materia orgánica, sólidos suspendidos, metales pesados, iones inorgánicos, entre otros (Albalawneh & Chang, 2015). A diferencia de las aguas negras, las aguas grises presentan concentraciones mucho más bajas de contaminantes como Nitrógeno, Potasio y Fósforo.

1.2.1 Reutilización de aguas grises

La reutilización de aguas grises en edificaciones presenta dos beneficios fundamentales: reduce el consumo de agua potable en el funcionamiento de recintos y disminuye la carga contaminante en el alcantarillado. Sin embargo, los usos específicos del agua gris reutilizada dependen de la escala de tratamiento y los recursos disponibles para su implementación.

La cantidad y calidad de las aguas grises a tratar determinan los usos que se les puede dar tras ser tratadas. Por ejemplo, la irrigación y el llenado de estanques de inodoro son dos usos típicos que, en gran parte, no implican contacto humano, por lo que las necesidades de tratamiento no son tan exigentes. Por otro lado, la irrigación en agricultura y otros usos que implican cierto grado de contacto directo con los humanos, deben someterse a estándares de calidad más altos, por lo que requieren sistemas de tratamiento más complejos para poder ser utilizadas (Boyjoo, Pareek, & Ang, 2013).

En general los países utilizan las normativas aplicables a los efluentes de aguas servidas para regular el reúso de aguas grises, pero en las últimas décadas, más países han comenzado a establecer normas de calidad específicas para las aguas grises y su reutilización, exigiendo límites para parámetros como Coliformes Fecales, Turbiedad, DBO₅, entre otros, dependiendo del uso que se le quiera dar a las aguas (Duttle, 1996). En la Tabla 1.6 se pueden ver los parámetros y límites para contaminantes en las normas de aguas grises del Reino Unido, Japón y Jordania (Albalawneh & Chang, 2015).

Tabla 1.6: Estándares de reutilización de aguas grises internacionales

a) Reino Unido (BS 8525)				
Parámetro	Aplicación rociada	Aplicación no-rociada		
	Lavado a presión, rociadores de jardín, lavado de autos	Descarga de inodoro	Riego de jardín	Uso de lavadora
E.coli (número/100ml)	Indetectable	250	250	Indetectable
Enterococci Intestinal (numero/100ml)	Indetectable	100	100	Indetectable
Turbiedad (NTU)	<10	<10	N/A	<10
pH	5-9.5	5-9.5	5-9.5	5-9.5
Cloro Residual (mg L ⁻¹)	<2.0	<2.0	<0.5	<2.0
Bromo Residual (mg L ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	0.0
b) Japón				
Parámetro	Descarga de inodoro	Irrigación de paisaje	Ornamental (Estético)	Ornamental (contacto limitado)
pH	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6
Turbiedad (NTU)	No desagradable	No desagradable	< 10	5
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	< 20	< 20	< 10	<3
Cloro Residual (mg L ⁻¹)		< 0.4		
Coliformes Totales (numero/100ml)	1000	50	1000	50

c) Jordania (JS1767:2008)				
Parámetro	Irrigación			Descarga de Inodoro
	Irrigación restringida (Árboles y follaje)	Jardín y vegetales consumidos cocidos	Vegetales consumidos crudos	
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	300	60	60	<10
DQO (mg L ⁻¹)	500	120	120	<20
SST (mg L ⁻¹)	150	100	50	10
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
NO ₃ (mg L ⁻¹)	50	70	70	70
N Total (mg L ⁻¹)	70	50	50	50
Turbiedad (NTU)	25	N/A	N/A	<5
E.coli (número/100ml)	N/A	10	10	<10
Nematodos (número/L)	< 1	<1	< 1	<1

Nolde (2005) explica en su investigación los estándares que se deben cumplir en los sistemas que reutilicen aguas grises en Alemania. Indica que, en un principio, la población alemana no aceptaba la reutilización de aguas grises debido a la existencia de olores y de asociaciones negativas en torno a ellas. Sin embargo, con el tiempo la aceptación de la reutilización de estas aguas ha crecido y está cada vez más sistematizada debido a los beneficios que entrega.

En general, los puntos claves que se toman en cuenta para la reutilización de las aguas grises son los siguientes:

- *Higiene*: Aspectos de instalación como utilización de tuberías de colores distintos a los de aguas servidas y potable, evitar cruzar conexiones, registro con las autoridades sanitarias correspondientes. Aspectos de calidad de agua, concentraciones mínimas y máximas de distintos parámetros.
- *Estética*: Las aguas a reutilizar no pueden presentar olores o colores que puedan molestar o poner en peligro a las personas
- *Economía*: Un sistema de reutilización de aguas grises debe tener costos operacionales que estén por debajo de los costos de agua potable y tratamiento de aguas residuales para asegurar que la inversión podrá recuperarse en un tiempo corto.

Aunque las aguas grises presentan considerablemente menos materia fecal que las aguas negras, siguen conteniendo contaminantes microbiológicos y químicos que pueden presentar problemas a la salud de la población que pueda entrar en contacto con ellas.

Los estudios recopilados por Benami, Gillor y Gross (2016), revelan que el uso de aguas grises crudas para irrigación tiene un impacto significativamente mayor en el suelo, las plantas y los vegetales que el uso de aguas grises tratadas. Específicamente, las concentraciones de contaminantes en suelos, plantas y vegetales regados con aguas grises sin tratar son órdenes de magnitud mayores que en aquellos regados con aguas grises tratadas.

Las aguas grises crudas contienen patógenos, sales, surfactantes y otros nutrientes en exceso que pueden generar cambios en la composición del suelo y afectar negativamente a las plantas. Estos cambios pueden inducir estrés en las plantas, lo que puede alterar su ritmo de crecimiento, producir daños en sus tejidos e incluso provocar su muerte.

Desde el punto de vista humano, es posible que exista contaminación si hay contacto directo con las aguas grises sin tratar, consumo de productos regados directamente con aguas grises, inhalación por aerosoles, contacto con medios de tratamiento (filtros, suelos contaminados, implementos para limpieza, etc.), transmisión de enfermedades por medio de vectores como insectos o roedores, etc. (Shi, Wang, & Jiang, 2018).

Como medidas de mitigación para evitar posibles enfermedades o contaminación, se debe asegurar el tratamiento y almacenamiento adecuado del agua, informar a los usuarios que utilicen las áreas verdes del origen del agua a través de carteles o rejas, etc.

Para el caso de Chile, el Ministerio de Medio Ambiente publicó el año 2018 la Ley 21.075, que tiene por objeto "regular la recolección y disposición de las aguas servidas domésticas, en las áreas urbanas y rurales, con el propósito de ahorrar y reutilizar el vital elemento". Esta ley incluye un documento que establece las condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises. En este reglamento en particular, se excluyen las aguas grises que se generan de lavaplatos y lavavajillas.

El reglamento de condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises también contempla condiciones de diseño y operación que deben cumplirse para que el sistema pueda ser aprobado por la autoridad sanitaria.

1.2.2 Tratamiento de aguas grises

El tratamiento de aguas grises ocupa los mismos principios que los sistemas de tratamiento para aguas servidas y el diseño de sistemas de tratamiento in-situ para distintas edificaciones puede ajustarse con la finalidad de remover contaminantes específicos dependiendo de las necesidades de cada caso, aplicando métodos físico-químicos o biológicos para el tratamiento. Idealmente, el proceso cuenta con una etapa de pre-tratamiento, donde se realiza la separación entre las fases sólidas y líquidas del agua y, dependiendo de las necesidades, finalizará con una etapa de post-tratamiento o desinfección (Boyjoo, Pareek, & Ang, 2013).

Generalmente, los procesos físicos son utilizados para reducir el contenido orgánico y remover sólidos del agua. La filtración es un proceso físico que se recomienda para iniciar el proceso de tratamiento de aguas grises (Macro-filtración) y para finalizarlo (micro, ultra o nano-filtración). Por sí solo, los procesos de filtraciones pueden remover hasta 65% de la DQO, reportándose eficiencias aún más altas si los procesos de micro, ultra o nano filtración utilizan energía para el proceso. Sin embargo, el uso de filtración por sí sola para el tratamiento de aguas grises no es recomendado, debido a las altas concentraciones de contaminantes disueltos en el agua en contraste a las concentraciones de los suspendidos, además de requerir mantenimiento con mucha frecuencia por la alta cantidad de material que queda atrapado en los filtros y que necesita ser removido, ya sea manual o automáticamente (Ghunmi, Zeeman, Fayyad, & van Lier, 2011).

También en la línea de tratamientos físicos, la adsorción es aplicada comúnmente con carbón activado derivado de materiales como el coco, aserrín, maderas, etc. La utilización de carbón activado muestra altas tasas de remoción de Sólidos disueltos totales, DQO y Turbiedad de las aguas tratadas, como se muestra en Amiri et al., (2019). Sin embargo, el carbón activado tiene la desventaja de que tiene una vida útil relativamente corta, por lo que es necesario renovarlo con frecuencia, además de no ser aplicable para la remoción de otros contaminantes sin carbono (metales pesados, nitratos, etc.). Considerando todo lo anterior, Li et al., (2009) recomienda utilizar procesos complementarios a los físicos para poder alcanzar los estándares mínimos requeridos para la reutilización de aguas grises.

Desde un punto de vista químico, Pidou (2008) muestra que el intercambio iónico y la coagulación son buenas alternativas para tratar aguas grises de bajas concentraciones, pero pierden efectividad cuando se tratan aguas con concentraciones más altas, o cuando no se alcanzan las condiciones óptimas para el tratamiento (pH de entrada, tiempo de contacto con sustancias coagulantes, etc.). También, se han evaluado las eficiencias de remoción de detergentes utilizando una combinación entre luz Ultravioleta y H₂O₂ donde se encontró que esta combinación logra una remoción de componentes orgánicos en las aguas grises en casi un 90%.

Por otro lado, los bioreactores de membrana son una tecnología innovadora y eficiente utilizada en el tratamiento de aguas grises. Estos sistemas combinan la acción de un reactor biológico con membranas de microfiltración o ultrafiltración para purificar el agua de manera efectiva (Ver Figura 1.1). En el proceso, los microorganismos biológicos descomponen los contaminantes orgánicos presentes en el agua gris, mientras que las membranas retienen las partículas suspendidas y microorganismos, produciendo un efluente tratado de alta calidad (Cecconet, Callegari, Hlavínek, & Capodaglio, 2019).

Una de las principales ventajas de los bioreactores de membrana es su capacidad para producir un efluente de alta calidad que cumple con los estándares de reutilización o descarga ambiental. Además, estos sistemas ocupan menos espacio en comparación con las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales, lo que los hace ideales para aplicaciones en áreas urbanas densamente pobladas o con restricciones de espacio (Cecconet, Callegari, Hlavínek, & Capodaglio, 2019).

A pesar de sus numerosas ventajas, los bioreactores de membrana también presentan desafíos, como su mantenimiento y el costo inicial de instalación (Lenntech, s.f.). Sin embargo, su eficiencia en la purificación de aguas grises y su capacidad para contribuir a la sostenibilidad ambiental los convierten en una opción atractiva para el tratamiento de aguas residuales en diversos contextos.

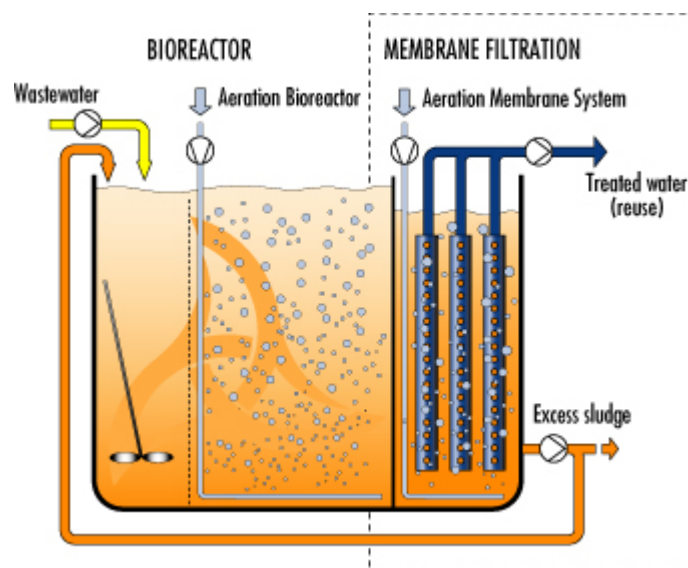


Figura 1.4: Esquema de bioreactor de membrana. (Recuperado de Lenntech, 2023)

La desinfección con cloración juega un papel crucial en el tratamiento de aguas grises, garantizando su seguridad al eliminar microorganismos dañinos. Sin embargo, la cloración puede tener efectos secundarios negativos, como la formación de subproductos de desinfección tóxicos, entre los que se encuentran los trihalometanos (Bernstein, Siebner, Kaufman, & Gross, 2021). Por lo tanto, es esencial equilibrar la necesidad de desinfección con la minimización de estos subproductos.

Según Metcalf & Eddy (2013) la radiación ultravioleta a la que se refiere la desinfección de aguas tratadas se encuentra entre los largos de onda de 220-320nm, teniendo la mayor efectividad entre 255 y 265nm. Al recibir radiación Ultravioleta, esta penetra la pared celular de los microorganismos y es absorbida por su ADN/ARN lo cual interfiere en los procesos normales de las células.

La desinfección a través de radiación ultravioleta ha ganado popularidad en los últimos años debido a su facilidad de instalación y sus formatos compactos en los que se puede presentar. Además, a diferencia de otros tipos de desinfección, la radiación ultravioleta no genera subproductos peligrosos tras su aplicación.

1.2.3 Soluciones en base a tecnologías verdes

Kadlec & Wallace (2009) describen los humedales construidos como "sistemas artificiales que se diseñan para enfatizar características específicas de los ecosistemas de humedales (naturales), con el fin de mejorar la capacidad de tratamiento". Estos sistemas utilizan una amplia gama de procesos físicos, químicos y biológicos para tratar el agua, como la filtración, sedimentación, adsorción, absorción por parte de las plantas, etc. Sin embargo, son muy susceptibles a grandes cambios en la eficiencia de remoción de contaminantes dependiendo de factores como la selección de plantas, forma del humedal y las condiciones en las que se operen.

Los humedales construidos normalmente se clasifican según la dirección del flujo en el sistema, existiendo humedales con flujo vertical y horizontal, esto últimos clasificándose en flujo superficial y subsuperficial (Figura 1.5). En cada caso, se deben considerar en las especificaciones de diseño el uso de vegetación y medio de soporte que se ajusten a las necesidades de tratamiento de cada caso. Para la vegetación, se deben tomar en cuenta su valor en el ámbito ecológico y en su capacidad de transpiración, resistencia al flujo, atrapamiento de partículas, entre otros.

Esta tecnología puede ser combinada con infraestructura urbana verde para cumplir varios roles a la vez, como es el caso de los techos y muros verdes, los cuales generalmente son utilizados en forma ornamental o con el fin de captar aguas lluvias (Boano, y otros, 2020).

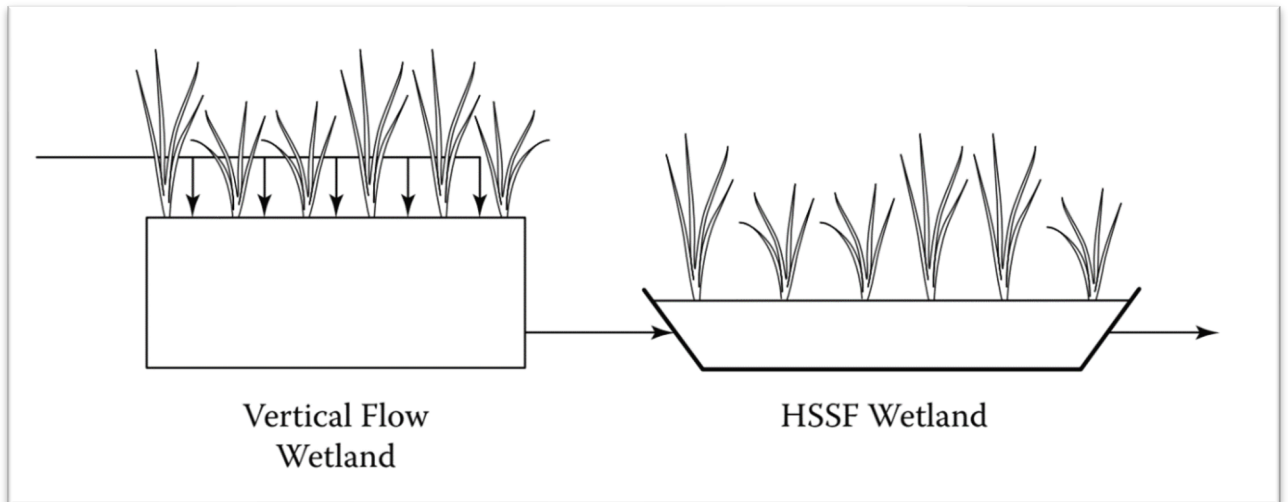


Figura 1.5 Esquema de humedales de flujo vertical (izquierda) y flujo horizontal (derecha).

Boano (2020) determina, en una recopilación de estudios sobre la aplicación de tecnologías basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés) para el tratamiento de aguas grises, que los humedales construidos presentan una buena alternativa descentralizada y amigable con el medio ambiente a los sistemas de tratamiento tradicionales. Los humedales construidos con flujo vertical y horizontal subsuperficial además presentan la ventaja de limitar el contacto humano con las aguas contaminadas, una alta remoción de patógenos, pero que de igual forma debiesen considerar una etapa de desinfección posterior para cumplir con regulaciones de calidad.

1.2.4 Soluciones modulares o prefabricadas

En el mercado, existen varias empresas que ofrecen soluciones al tratamiento de aguas grises en módulos prefabricados, los cuales se pueden seleccionar dependiendo de las medidas y necesidades locales, evitando tener una etapa de diseño desde cero. Además, se pueden instalar en terreno de manera más simple que una opción que se realiza desde cero.

Comúnmente, estos módulos utilizan una combinación de procesos de tratamiento que se pueden ajustar a las características del agua que se trata, como la filtración, la sedimentación y la desinfección.

A continuación, se presentan algunas alternativas en el mercado para el tratamiento de aguas grises junto a sus características:

Tabla 1.7: Ejemplos de plantas de tratamiento de aguas grises prefabricadas.

Marca y Descripción	Imagen Referencial
<p>Dehoust GWR/GWM X00</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento entre 300 y 3000 litros diarios de aguas grises, dependiendo del modelo. • Cuerpo externo de polietileno. • Cuenta con módulos para: <ul style="list-style-type: none"> • (Opcional) Filtro grueso con unidad de retrolavado. • Almacenamiento, homogeneización y estabilización de aguas grises a tratar. • Tratamiento con biomembrana sumergida sin agregación de químicos. Incluye aireación con compresor. • Ciclos de operación ajustables a las necesidades de cada operador. • Dimensiones para instalación de: <ul style="list-style-type: none"> • Versión 300: 1.380x690x1.430 mm, 75Kg • Versión 3000: 2.845x2.560x2.700 mm, 140 Kg • Consumo energético: 1,5 kWh/m³ • No incluye módulo de desinfección 	
<p>O&G Planta de Tratamiento VA XX.0 CI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad entre 3.200 y 190.000 litros diarios de aguas residuales, dependiendo del modelo. • Cuerpo externo de Fibra de Vidrio, permite ser enterrada bajo tierra. • Cuenta con módulos para: <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento con lodos activados con eyectores sumergibles para aireación extendida • Módulo de cloración y de cloración. • Consumo entre 0,375 y 4,5 kWh/m³ • Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> • Diámetros entre 1,5 y 3,0 m. • Largos entre 2,1 y 20,3 m. 	

Marca y Descripción	Imagen Referencial
<p>Azud Watertech GW DU X</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad entre 2.000 y 9.000 litros por hora, dependiendo del modelo y necesidades. • Planta ensamblada de fábrica. • Contenedor tipo armario con llave. • Módulos para: <ul style="list-style-type: none"> • Filtración por discos 100 µm. • Unidad de ultrafiltración 0,08 µm. • Sistemas automáticos de retrolavado. • Dosificador de hipoclorito final. • Dimensiones de instalación entre 2,5x1,5x2,4m y 4,5x1,7x2,4m 	

Con el objetivo de mantener la estética general del Club Providencia, se analizará la opción de implementar un humedal construido, y una de las opciones prefabricadas, en este caso, la presentada por Azud Watertech por ser más compacta y menos invasiva en términos de instalación.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General*

Evaluar alternativas de tecnologías para la reutilización de aguas grises para reúso directo de la comuna de Providencia, a partir de efluentes del Club Providencia.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar la cantidad de agua gris reutilizable en el Club Providencia a través de un catastro de información.
- Determinar la calidad de agua gris reutilizable en el Club Providencia a través de un catastro de información o con estimaciones a través de literatura.
- Comparar técnica y económicamente la utilización de las distintas alternativas identificadas.

2. Metodología

2.1 Demanda hídrica de Comuna de Providencia

La comuna utilizó 678.228m^3 de agua potable en irrigación durante el año 2022. Por lo tanto, según lo solicitado por el desafío Escúrrete 2023, se debe lograr disminuir el consumo de agua en $67.822,8\text{ m}^3$, o aproximadamente $185,2\text{ m}^3/\text{día}$. Considerando que en la estrategia hídrica local de Providencia se declara que se ocupan aproximadamente 12 l/m^2 de área verde al día, se puede encontrar un área equivalente a 15.433 m^2 la cual debe ser regada exclusivamente con aguas grises recicladas.



Figura 2.1: Área verde equivalente a disminuir consumo en 10%.

2.2 Demanda hídrica del Club Providencia

Para conocer la demanda hídrica del Club Providencia, se utilizan datos de consumo mensual pedidos por transparencia a la Municipalidad de Providencia. Estos datos reflejan el consumo total de agua potable en el club, lo que incluye consumo humano, riego, limpieza, cocina, usos recreacionales, etc., y se utilizarán para calibrar las estimaciones de cantidad de agua. Los consumos se encuentran divididos por sector en las tablas del .

2.2.1 Estimación de producción de aguas grises

La producción de aguas grises viene mayoritariamente del uso de artefactos como lavamanos, duchas, lavadoras, lavalozas y lavavajillas, aunque el reglamento de aguas grises indica excluir estas últimas 2. Además, para este caso en particular, se considerará como fuente de agua la piscina municipal, que tiene un volumen aproximado de 1120m³ disponibles y cuyas aguas se tienen un recambio 1 vez al mes en temporada baja y 2 veces al mes en temporada alta, según la información entregada por transparencia. Para estimar un valor mensual de producción de aguas grises, se consideran dos opciones que son contrastadas y evaluadas para su utilización:

Alternativa A:

Basándose en los elementos que se consideran para la generación de aguas grises, se cuenta la cantidad duchas, lavamanos, lavaplatos y lavadoras que se encuentran en los planos del sector (solicitados por transparencia) y se dividen en sectores de uso administrativo y uso público. De esta manera, se generan dos ecuaciones:

$$Q_{adm} = n_{días,j} \cdot \sum_i N_i \cdot Q_i$$

Donde:

Q_{adm} : Caudal mensual de aguas grises generado por los trabajadores [l/mes]

$n_{días,j}$: Número de días en el mes "j".

N_i : Número de artefactos "i" (i = Lavamanos, lavaplatos).

Q_i : Gasto diario asociado al uso del artefacto "i" [l/día].

$$Q_{vis} = n_{vis} \cdot \sum_i N_i \cdot Q_i$$

Donde:

Q_{vis} : Caudal mensual de aguas grises generado por los visitantes [l/mes]

n_{vis} : Número de visitantes mensuales.

N_i : Número de artefactos "i" (i = Duchas, lavamanos, lavadoras).

Q_i : Gasto asociado a un uso del artefacto "i" [l/uso]

La primera de estas ecuaciones considera solamente los artefactos asociados a espacios que no están abiertos al público general o reservados para el uso del personal del edificio. Se asumen valores de uso diario a partir de la literatura y el número de trabajadores y se multiplican por el número de días del mes para obtener un gasto base. El dato de la cantidad de trabajadores (170) se obtiene a través de la cuenta pública de la empresa y, para efectos de este trabajo de título, se supone que se mantiene constante.

Por otro lado, la segunda ecuación estará supeditada por la cantidad de visitantes mensuales que se tienen en el recinto, y por lo tanto, será de carácter más variable dependiendo del mes. Los valores para Q_i son obtenidos del Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (INN, 2019).

Finalmente, el caudal asociado a la producción de aguas grises vendrá dado por la suma de los caudales determinados anteriormente. Este valor no necesita ser multiplicado por un porcentaje de producción de aguas grises, ya que solamente considera la utilización de aparatos que producen aguas grises.

Alternativa B:

El valor de los caudales de aguas grises generadas se calcula a partir de estimaciones de consumo diario de un visitante y un empleado en un recinto comercial. Los valores considerados para esta estimación son los siguientes:

Tabla 2.1: Valores de consumo de agua potable diario para empleados y visitantes a recintos

Fuente	Consumo Empleado [l/día/empleado]	Consumo Visitante [l/día/visita]
US Federal Energy Management Program	-	100
Norma Chilena 1105/2019 (Adaptada)	150	200
US Energy Information Administration	200	-
Central Ground Water Authority India	120	120

Dependiendo de factores ambientales, de población y de uso, el porcentaje de agua potable diaria consumida que se transforma en aguas grises puede variar entre un 50% y 75% (Boano, y otros, 2020). La expresión para calcular la cantidad de aguas grises que se genera mensualmente estará dada por:

$$Q_{GW} = (\%_D + \%_L) * Q_V * N_V + \%_L * Q_E * N_E * d$$

Donde:

$Q_{GW,j}$: Caudal de aguas grises generado en un mes [m³/mes]

$\%_D$: Aporte porcentual de las duchas a la producción de aguas residuales. [-]

$\%_L$: Aporte porcentual de los lavamanos a la producción de aguas grises. [-]

Q_v : Caudal de aguas grises asociado a un visitante por visita [m³]

N_V : Número de visitantes al mes [-]

Q_E : Caudal de aguas grises asociado a un empleado al día [m³/día]

N_E : Número de empleados [-]

d : Número de días al mes [-]

Alcance y selección de las alternativas

Para la selección del uso de una alternativa o la otra, se considerará que valor del caudal resultante debe corresponder a un 50-75% del consumo mensual de agua real del Club Providencia, considerando en ambos casos el recambio de agua de la piscina.

Para efectos del diseño, el valor del caudal se asociará al máximo mensual para asegurar el correcto funcionamiento de las soluciones durante todo el año. Dependiendo de las soluciones que finalmente se apliquen, el caudal podrá disminuirse para ajustarse al diseño y se considerará que las aguas que no son tratadas serán descargadas directamente al alcantarillado como en la situación actual.

2.2.2 Caracterización de las aguas grises a tratar

Debido a la incapacidad de realizar mediciones de calidad del agua para cada aparato por separado y en conjunto, se estimarán las concentraciones de los contaminantes a estudiar en cada caso. Por lo anterior, esta considera como la variable con mayor incertidumbre al momento de realizar los cálculos y debe ser estudiada con más atención a futuro.

Visto esto, la estimación de las concentraciones se hará a partir de la literatura u otros estudios que compartan características similares a este caso, como Gabarró (2013)

del cual se pueden extraer rangos de magnitudes aproximadas como referencia. Dado lo anterior, los valores del efluente a tratar se presentan a continuación:

Tabla 2.2: Valores para aguas grises que ingresan al proceso de tratamiento

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
DBO5	mg/L	68,8	Promedio aguas grises claras (Boyjoo, Pareek, & Ang, 2013)
SST	mg/L	71	Promedio aguas grises claras (Boyjoo, Pareek, & Ang, 2013)
CF	UFC/100ml	2,36*10 ³	Promedio aguas grises claras (Boyjoo, Pareek, & Ang, 2013)
Turbiedad	UNT	112,84	Promedio aguas grises claras (Boyjoo, Pareek, & Ang, 2013)
Cloro Libre Residual	mg/L	-	Valor dependiente, post-tratamiento

2.3 Sistemas de tratamiento

2.3.1 Objetivos de tratamiento para los sistemas

En todos los casos, las concentraciones objetivo serán las dictadas por el reglamento de reúso de aguas grises del Ministerio de Salud de Chile, en particular, las concentraciones para irrigación superficial. Esto se debe a la cercanía del Club Providencia al bandejón central de la calle Pocuro, el cual tiene un sistema de riego por goteo. Los límites máximos se presentan en la Tabla 2.3, Tabla 2.3: Objetivos de tratamiento para reúso de aguas grises establecidos por el Ministerio de Salud de Chile extraída del reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises del Minsal (2018).

Tabla 2.3: Objetivos de tratamiento para reúso de aguas grises establecidos por el Ministerio de Salud de Chile (2018)

Parámetro	Unidad	Límite Máximo	
		Riego superficial	Riego subsuperficial
DBO5	mg/l	30	240
SST	mg/l	30	140
CF	UFC/100 ml	200	1000

Cloro libre residual	mg/l	$0,5 < X < 2$	----
Turbiedad	UNT	10	----

2.3.2 Dimensionamiento de las soluciones

2.3.2.1 Aspectos Generales

Suponiendo que el Club Providencia dispondría libremente de los espacios que actualmente no tienen edificaciones propósitos definidos, se identifican dos espacios desocupados donde se podrían ubicar las soluciones propuestas. Estas se presentan en la Figura 2.2, donde el espacio que se encuentra en el poniente tiene un área aproximada de 497,25m² y el espacio que se encuentra en el oriente de 1.310m². Sin embargo, estos espacios son utilizados comúnmente para actividades recreativas al aire libre, por lo que no se puede disponer libremente de ellos para la instalación del sistema de tratamiento. En particular, se puede descartar la mayor parte del área oriente por su cercanía a la piscina y los posibles problemas que pueda generar ubicar un sistema de tratamiento de aguas grises en el sector, tanto durante la construcción como en la operación.



Figura 2.2: Área disponible en Club Providencia

Se limita el área a utilizar al área poniente, buscando reducir lo más posible la huella que utilice el sistema. El terreno tiene una pendiente natural de 3,3%, encontrándose el vértice nororienté más alto que el vértice sur poniente.

Considerando que este sistema busca beneficiar a la comuna de Providencia, la cual es dueña del terreno a utilizar, se asume que no habrá costos asociados a la compra o arrendamiento del terreno.

Para la conexión al sistema existente de alcantarillado, las tuberías a utilizar deben regirse por la Norma Chilena 1105/2019 Ingeniería sanitaria - Alcantarillado de aguas residuales - Diseño y cálculo de redes (2019):

- *Capacidad de las tuberías:* La capacidad de la tubería se debe calcular con el diámetro interior (D), de modo que la razón entre la altura de agua dentro de la tubería (h) y el diámetro interior (D) quede entre los límites que se indican:
 - Para el caudal máximo de diseño, h/D debe ser 0,7 o 0,8 en casos justificados.
 - Para el caudal mínimo $h/D \geq 0,30$.
- *Velocidad en las tuberías:* La velocidad del agua en la tubería se debe calcular utilizando la ecuación de Manning u otra equivalente validada por la Autoridad Competente y debe estar dentro de los siguientes límites:
 - Máxima: 3 m/s
 - Mínima: 0,6 m/s
- *Diámetros de tuberías:* El diámetro nominal mínimo a utilizar en tuberías laterales y cañerías debe ser 200 mm, salvo en casos especiales de pasajes o calles sin posibilidades de conexión de futuras extensiones de red, con tramos que sumados no superen los 200 m, en cuyo caso se puede utilizar el diámetro nominal de 175mm para tuberías de hormigón simple o su equivalente para otros materiales.
- *Materiales:* Las tuberías pueden ser de hormigón simple, hormigón armado, poli(cloruro de vinilo) (PVC) (liso, perfilado) polietileno de alta densidad (PEAD) (liso, corrugado, perfilado), fibra de vidrio (PRFV), hierro fundido, acero u otro material aceptado por la Autoridad Competente. En el caso de las tuberías plásticas, deben ser SN4 y SN8.

Con la finalidad de dar cumplimiento al reglamento de reutilización de aguas grises (Ministerio de Salud, 2018), se deben atender a los siguientes requerimientos:

1. El diseño debe contemplar la descarga de aguas grises con y sin tratamiento a algún sistema de alcantarillado y, por lo tanto, debe incluir los dispositivos necesarios para desviar las aguas grises hacia la red de alcantarillado para realizar labores de limpieza, en caso de que se genere un caudal por sobre el tratable, en caso de que ocurrieran eventos que pueden alterar la calidad de las aguas tratadas, entre otros.

2. Las descargas al alcantarillado serán, de preferencia, gravitacionales y se deben implementar dispositivos que eviten la entrada de aguas negras al sistema de aguas grises.
3. En atravesos y paralelismos entre tuberías de agua potable, aguas grises (con y sin tratamiento) y aguas negras, las cañerías de agua potable deberán estar por sobre las cañerías de aguas grises, y estas últimas deberán estar por sobre las cañerías de aguas negras.

El diseño que se propone para el sistema de humedal construido, tiene la configuración que se muestra en la Figura 2.3. En esta, la desinfección se deja abierta para comparar la efectividad de

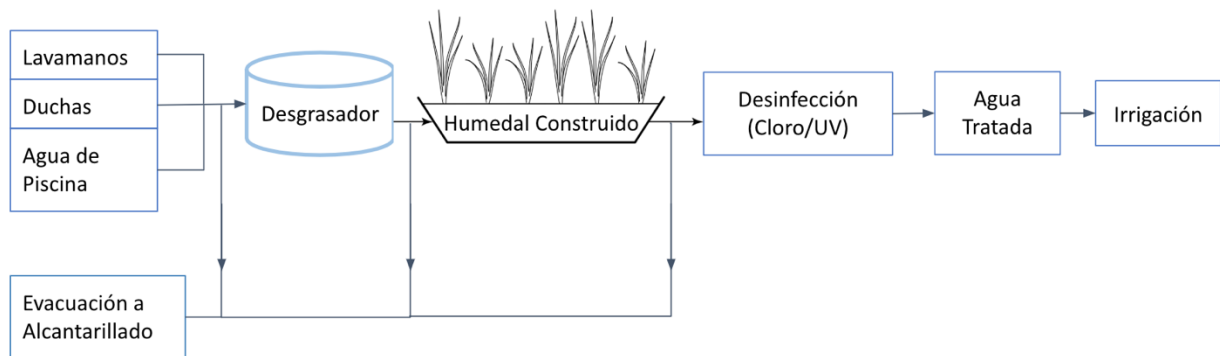


Figura 2.3: Esquema de tratamiento propuesto para humedal construido.

La adaptación del sistema de alcantarillado antiguo a los nuevos en términos de factibilidad, diseño y costos, no es un alcance de este informe.

2.3.2.2 Cámara desgrasadora

Los separadores de grasas o cámaras desgrasadoras son comúnmente utilizados como complemento a los sistemas de tratamiento descentralizados para evitar obstrucciones en cañerías o en sistemas de filtros. Por lo mismo, generalmente son instalados al inicio del proceso de tratamiento y sus dimensiones dependen del caudal a tratar, la generación de grasas y el tiempo de retención que se considera para que se produzca la separación entre aceites y agua.

El dimensionamiento se rige por la siguiente ecuación:

$$V = Q_d * T_R * 1,1$$

Donde:

V : Volumen de la cámara desgrasadora [m^3]

Q_d : Caudal de diseño [m^3/h]

T_R : Tiempo de retención [h]

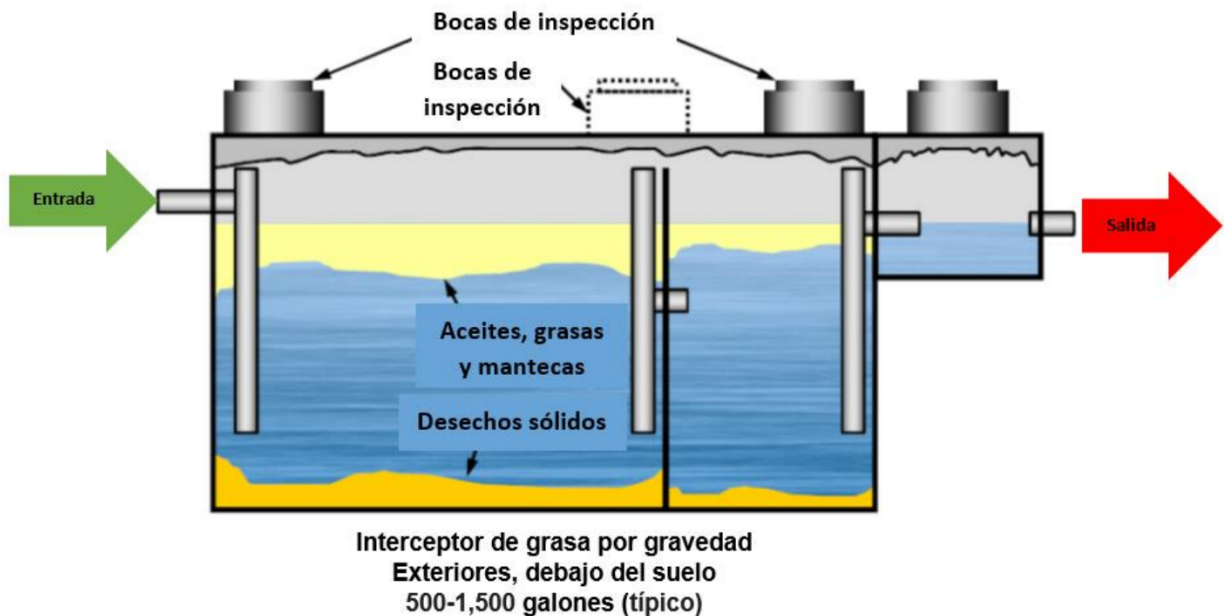


Figura 2.4: Ejemplo de diseño de cámara desgrasadora por gravedad. (Fuente: Paso Robles, 2021)

$$V = Q_d * T_R * 1,1La$$

La eficiencia de remoción de DBO_5 y Sólidos Suspendedos Totales puede ser modelada según una ecuación empírica propuesta por Metcalf & Eddy (2013):

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Donde:

R : Eficiencia de remoción esperada [-]

t : Tiempo de retención hidráulico [horas]

a, b : Constantes empíricas

Los valores para a y b a $20^\circ C$ son las siguientes:

Tabla 2.4: Valores de constantes empíricas para eficiencia de remoción de DBO₅ y SST.

Ítem	b	a
DBO ₅	0.020	0.018
SST	0.014	0.0075

Por otro lado, para determinar la cantidad de grasas removidas al día, se utiliza el Estándar Técnico OC 03-002 Rev 2 de Esval S.A., (2002).

$$R = (Q * C * J) * \frac{60 \left[\frac{\text{min}}{\text{hr}} \right]}{10^6 \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]}$$

Donde:

R: Grasas removidas al día [kg/día]

Q: Caudal de diseño [L/min]

C: Concentración de sólidos en aguas a tratar [mg/L]

J: Duración de la jornada del establecimiento [h/día]

Para determinar la frecuencia de limpieza, se establece una capacidad máxima de grasas y aceites correspondiente al momento en el que el estanque alcanza un entre un 80 y 90% de su capacidad por acumulación de sólidos y grasas. Esta capacidad máxima de carga puede ser estimada a través de la siguiente expresión empírica (ESVAL S.A., 2002):

$$CMC = 1,2 * Q$$

Donde:

CMC: Capacidad máxima de carga [kg]

Q: Caudal de residuos líquidos a tratar [L/min]

Finalmente, la frecuencia de limpieza y retiro de grasas y sólidos estará dada por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{CMC}{R}$$

Donde:

F : Frecuencia de limpieza [días]

CMC : Capacidad máxima de carga [kg]

R : Grasas removidas al día [kg/día]

2.3.2.3 *Humedal Construido*

Tomando en cuenta los factores mencionados en las secciones anteriores, se deben hacer cálculos hidráulicos y de remoción de contaminantes. Esto permitirá conocer el área superficial del humedal para determinar los requisitos de espacio y la factibilidad de la aplicación de este sistema.

Es posible utilizar el modelo p - K - C^* para modelar la remoción de algunos contaminantes en humedales construidos (Kadlec & Wallace, 2009). Este modelo, toma en consideración las constantes de reacción de primer orden de los contaminantes, el número de estanques en serie que se utilizan y las concentraciones remanentes de los contaminantes, la cual se define como una concentración fija asociada a los humedales construidos. La ecuación base se presenta a continuación:

$$\frac{C_o - C^*}{C_i - C^*} = \frac{1}{1 + \left(\frac{k}{Pq}\right)^P}$$

Luego, considerando que $q = Q/A$, se puede despejar el valor del área superficial del humedal:

$$A = \frac{P \cdot Q}{k} \cdot \left(\left(\frac{C_i - C^*}{C_o - C^*} \right)^P - 1 \right)$$

Donde:

C_o : Concentración del efluente [mg/L]

C_i : Concentración del afluente [mg/L]

C^* : Concentración remanente [mg/L]

k : Constante de reacción de primer orden [m/día]

P : Número de estanques en serie [-]

q : Carga hidráulica [m/día]

A : Área superficial del humedal [m²]

Q : Caudal a tratar [m³/día]

Las ecuaciones presentadas son válidas tanto para humedales de flujo vertical subsuperficial como para flujo horizontal subsuperficial.

La cantidad de estanques en serie “P” que se consideran, puede ser determinado por el espacio que se tiene, en donde se evita que el humedal tenga puntos “muertos” donde no se genere flujo. En general, se recomienda que los humedales estén en razón $2:1 < L:W < 4:1$ para cumplir con la finalidad anteriormente mencionada, sin embargo, se pueden ocupar distintas configuraciones con varias celdas con el fin de mejorar el flujo por el humedal (Ver).

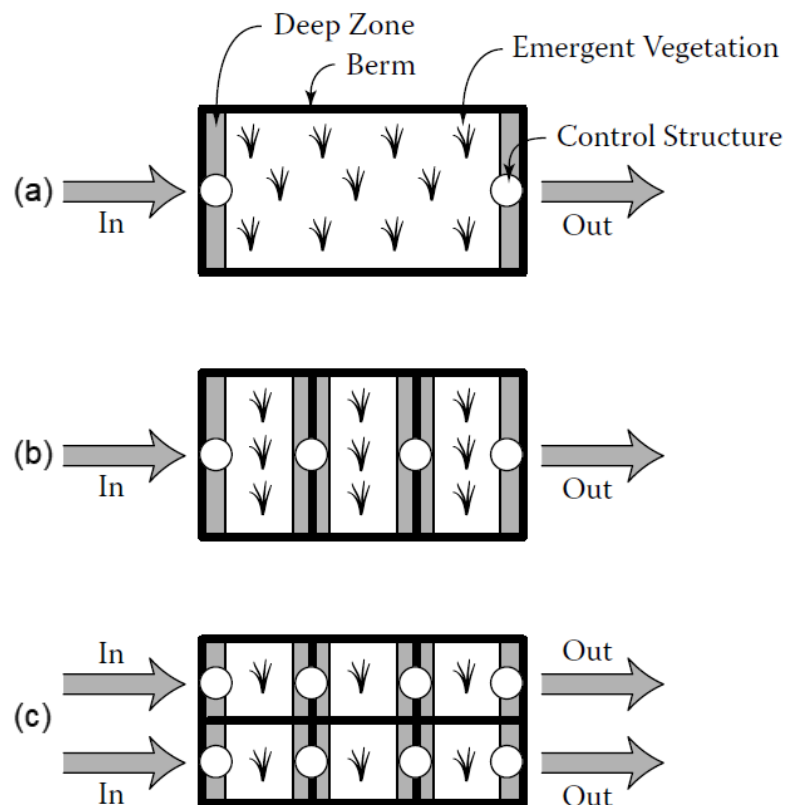


Figura 2.5: Configuraciones de humedal para una misma área con (a) 1 celda, razón 2:1 (b) 3 celdas, razón 1:2 y (c) 6 celdas, razón 1:1. (Recuperado de Kadlec & Wallace, (2009))

El valor de “P”, se puede obtener iterando las alternativas, cambiando los tamaños de las celdas y ajustando el valor de P asociado. Se debe considerar que el uso de más celdas implica aumentar el uso de estructuras de control de flujo, las cuales aumentarán el total de la inversión.

Los valores de las constantes de reacción de primer orden se pueden obtener a partir de ensayos a escala o a partir de la literatura. En este caso, debido a la imposibilidad de realizar pruebas, se obtendrán a partir de las recomendaciones que entregan Kadlec & Wallace (2009).

Se debe mencionar que los valores presentados en la Tabla 2.5, en primer lugar, no consideran la turbiedad, debido a su estrecha relación con los sólidos suspendidos totales, ni el Cloro libre residual, debido a que dependerá del proceso de desinfección utilizado. Por otro lado, los valores de las constantes están expresados en [m/año], pero son transformados a [m/día] para ser usados en las ecuaciones correspondientes.

Tabla 2.5: Valores de constante de reacción para contaminantes

Parámetro	k [m/año]
DBO ₅	46
SST	1000
Colif. Fecales	103

Los valores de las concentraciones remanentes del humedal también son seleccionados a partir de la literatura y se presentan a continuación (Tabla 2.6):

Tabla 2.6: Valores de concentraciones remanentes sugeridos por literatura

Parámetro	Unidad	C*
DBO ₅	mg/L	3
SST	mg/L	13,26
Colif. Fecales	UNT/100ml	0

Los valores son seleccionados para la mediana de los valores presentados en Kadlec y Wallace (2009). Cabe notar que la concentración remanente para coliformes fecales es 0 debido a que los humedales construidos no tienen asociados una producción natural de coliformes fecales.

El tiempo de retención es muy relevante para asegurar un tiempo de contacto apropiado en el humedal y está dado por la siguiente ecuación:

$$\tau_n = \frac{\varepsilon \cdot h \cdot A}{Q}$$

Donde:

τ_n : Tiempo de retención [días]

ε : Porosidad del suelo [-]

h : Profundidad del humedal [m]

A : Área superficial del humedal [m²]

Q : Caudal a tratar [m³/día]

La porosidad del suelo está dada por el tipo de material que se utilice. Normalmente, se utilizan suelos desde arena gruesa hasta grava media (Tabla 2.7), con la finalidad de asegurar un tiempo de retención de entre 1-3 días y asegurando la supervivencia de las plantas.

Tabla 2.7: Medios de soporte comúnmente utilizados en humedales construidos. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Material	Tamaño efectivo d_{10} [mm]	Conductividad hidráulica [$m^3/m^2/d$]	Porosidad ϵ [-]
Arena Gruesa	2	100-1.000	0.28-0.32
Arena Gravosa	8	500-5.000	0.30-0.35
Grava Fina	16	1.000-10.000	0.35-0.38
Grava Media	32	10.000-50.000	0.36-0.40

2.3.2.4 Desinfección

Considerando que las aguas grises contienen excreciones humanas en cierta cantidad, y para garantizar que su reúso sea lo más seguro posible, se propone contar con al menos una medida de desinfección luego del tratamiento principal. Para esto, se evalúa contar con un sistema de desinfección por cloración o uno por luz ultravioleta.

Desinfección con cloro

El proceso de desinfección con cloro comienza con la dosificación precisa del cloro al agua a tratar. La cantidad de cloro necesaria depende de varios factores, como la calidad del agua, la temperatura, el pH y la presencia de microorganismos. Metcalf & Eddy (2013), sugieren utilizar el modelo refinado de Collins-Selleck para calcular la dosificación de cloro en el agua a tratar:

$$\begin{cases} \frac{N}{N_0} = 1, & , si CT < b \\ \frac{N}{N_0} = \left[\frac{CT}{b} \right]^{-n}, & , si CT > b \end{cases}$$

Despejando C , obtenemos para $CT > b$:

$$C = \frac{b}{T} \left(\frac{N_0}{N} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

N : Recuento de coliformes fecales después de la desinfección [UNT/100ml]

N_0 : Recuento de coliformes fecales antes de la desinfección [UNT/100ml]

C : Concentración residual del cloro después del tiempo “T”, [mg/L]

T : Tiempo de contacto [min]

n : Pendiente de la curva de inactivación [-], normalmente 2,8

b : Valor de la intersección con el eje “x” cuando $N/N_0 = 1$ [min*mg/L], normalmente 3,0-4,0

Una alternativa a aplicar es un clorador presurizado, el cual aprovecha una disminución en la presión de la tubería principal para desviar el flujo de agua recién tratada hacia una cámara presurizada donde existe contacto directo con tabletas de cloro, pudiendo controlar la dosis cambiando el caudal y alterando el tiempo de contacto con estas tabletas (Ver Figura 2.6: Diagrama de flujo esquemático para clorador presurizado (Adaptado de Metcalf y Eddy, 2013).Figura 2.6).

Esta configuración entrega la ventaja de ser más compacta que un estanque de contacto o un laberinto de cloración, los cuales necesitan más espacio y puede dejar expuesta el agua a los usuarios. Además, el uso de tabletas de cloro elimina el peligro de interactuar con balones de cloro, cuyo mal manejo puede ser muy perjudicial para la salud de la gente que opere el sistema.

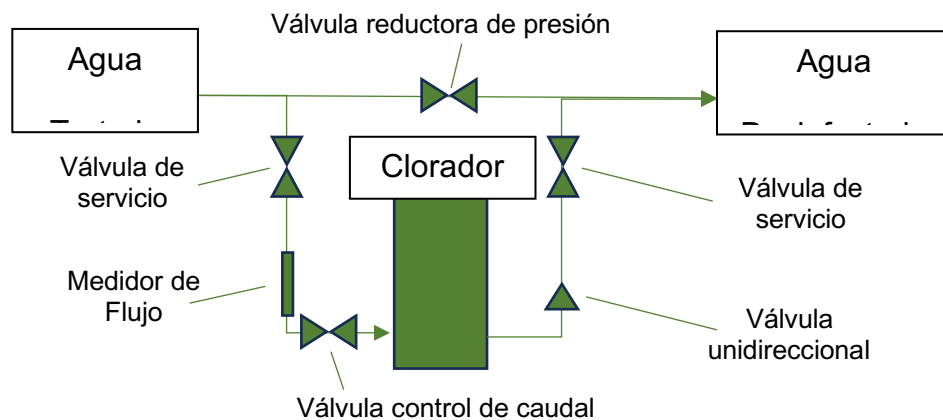


Figura 2.6: Diagrama de flujo esquemático para clorador presurizado (Adaptado de Metcalf y Eddy, 2013).

Desinfección con radiación Ultravioleta (UV)

Para determinar la dosis necesaria de radiación Ultravioleta (medida en mJ/cm^2), se deben identificar las concentraciones de coliformes fecales en el afluente y en el efluente. Una vez encontradas, la dosis puede ser determinada a través de la Tabla 2.8.

Existen varios sistemas de desinfección UV de alta intensidad, de baja y media presión, diseñados para funcionar en canales o tuberías cerradas. Se utilizan dos configuraciones de sistemas UV. En la primera, el flujo se dirige perpendicularmente a la ubicación de las lámparas. En la segunda, el flujo es paralelo a las lámparas UV (ver Figura 2.7 (a) y (b), respectivamente)

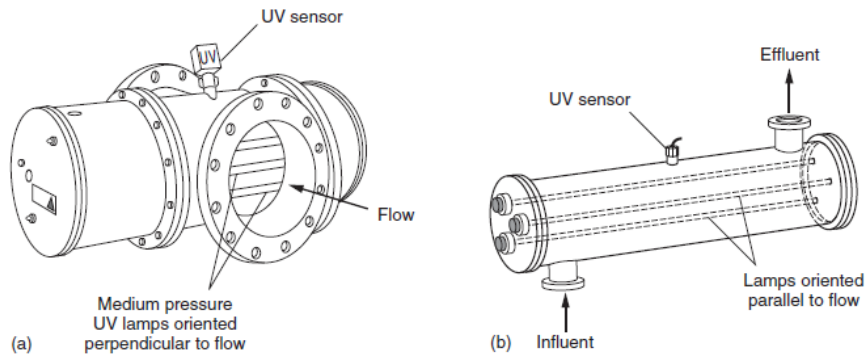


Figura 2.7: Tipos de configuraciones para desinfección por radiación UV para tuberías (Metcalf & Eddy, 2013).

La configuración y cantidad total de lámparas UV o de módulos que las contengan puede ser determinada comparando los coeficientes de transmisión (transmitancia) estimados para el agua tratada con los especificados por los fabricantes de los módulos.

Tabla 2.8: Dosis de radiación Ultravioleta requeridas típicas para la desinfección de aguas (Adaptado de Metcalf y Eddy, 2013)

Tipo de agua residual	Recuento inicial CF MPN/100 mL	Dosis UV, mJ/cm^2			
		Concentración de CF Salida, UFC/100mL			
		1000	200	23	<2.2
Agua Servida Cruda	10^7 - 10^9	20-50	-	-	-
Efluente Primario	10^7 - 10^9	20-50	-	-	-
Efluente de filtro percolador	10^5 - 10^6	20-35	25-40	40-60	90-110

Tipo de agua residual	Recuento inicial CF MPN/100 mL	Dosis UV, mJ/cm ²			
		Concentración de CF Salida, UFC/100mL			
		1000	200	23	<2.2
Efluente de Lodos Activados	10 ⁵ -10 ⁶	20-30	25-40	40-60	90-110
Efluente de Lodos Activados filtrado	10 ⁴ -10 ⁶	20-30	25-40	40-60	80-100
Efluente Nitrificado	10 ⁴ -10 ⁶	20-30	25-40	40-60	80-100
Efluente Nitrificado Filtrado	10 ⁴ -10 ⁶	20-30	25-40	40-60	80-100
Efluente Microfiltración	10 ¹ -10 ³	5-10	10-15	15-30	40-50
Osmosis Inversa	~0	-	-	-	5-10
Efluente de tanque séptico	10 ⁷ -10 ⁹	20-40	25-50	-	-
Efluente de filtro de arena intermitente.	10 ² -10 ⁴	10-20	15-25	25-35	50-60

Según el rango de entrada estimado para los coliformes fecales el afluente a tratar, se puede homologar el estándar a “Efluente de Lodos filtrados activado”, el cual para una concentración de salida de 200 UFC/100 ml, debe recibir una dosis UV de 25-40 mJ/cm².

Los fabricantes de módulos de luces Ultravioleta para tratamiento de aguas, incluyen en las especificaciones técnicas las condiciones operativas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento y dosificación, como se muestra en la Figura 0.1 del Anexo C.

2.4 Factibilidad de aplicación de los sistemas

Con la finalidad de evaluar cada alternativa presentada, se establecen criterios de distinta índole y se describirá el nivel de cumplimiento en cada caso. Los criterios para evaluar son los siguientes:

Tabla 2.9: Criterios a considerar para el análisis de las soluciones

Clasificación	Tipo	Descripción
Técnico	Eficiencia de Tratamiento	Evaluar la capacidad del sistema para eliminar contaminantes y cumplir con los parámetros de calidad requeridos para el uso previsto.
	Disponibilidad de Espacio	Evaluar si el espacio disponible es suficiente para la instalación del sistema y sus componentes.
	Mantenimiento y Operación	Evaluar los requerimientos de mantenimiento y operación del sistema.
	Costos	-Estimar el costo de inversión inicial y los costos operativos del sistema. -Evaluar la viabilidad económica del proyecto. -Estimar el período de recuperación de la inversión
	Vida Útil	-Estimar la vida útil del sistema. -Considerar la necesidad de reemplazar componentes o realizar reparaciones durante la vida útil del sistema.
Ambiental	Consumo de agua potable	Calcular la reducción del consumo de agua potable que se lograría con la implementación del sistema.
	Generación de aguas residuales	Calcular la reducción de la generación de aguas residuales que se lograría con la implementación del sistema.
	Impactos Ambientales	-Evaluar si el sistema de tratamiento de aguas grises protege el medio ambiente y la salud pública. -Considerar los posibles impactos ambientales negativos del sistema, como la generación de ruido o emisiones.
	Impacto en la comunidad	-Evaluar el impacto del sistema de tratamiento de aguas grises en la comunidad local. -Considerar los posibles beneficios económicos y sociales del proyecto.

3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados de la investigación y se discuten sus implicaciones. Se presentarán los resultados obtenidos de la metodología explicada en la sección anterior y al final de cada sub-sección, se discutirán con la finalidad de explicar su significado e implicancias.

3.1 Demanda hídrica del Club Providencia

3.1.1 Estimación de producción de aguas grises

Para evitar tener que tratar cargas orgánicas demasiado altas, se elige excluir del estudio las aguas provenientes de lavalozas y lavandería, debido a los contenidos de los químicos utilizados, que dificultan el tratamiento y generan olores desagradables (Nolde, 2005).

A continuación, se presentan los resultados de las evaluaciones de las Alternativas A y B presentadas en la Sección 2.2.1.

Alternativa A

Para la alternativa A, primero se presentan los recuentos de los artefactos relevantes al estudio (Tabla 3.1 y Tabla 3.2). Como se menciona, solo se consideraron los lavamanos y duchas para evitar altas cantidades de aceites y químicos. Además, solo se contaron las duchas como uso público. Cabe notar que la piscina solo se cuenta 1 vez para evitar redundancia.

Tabla 3.1: Número de artefactos asociados a los trabajadores del Club Providencia

Artefacto	Nº	Q [l/día]
Lavamanos	15	24
Duchas	-	-
Piscina	-	-

Tabla 3.2: Número de artefactos asociados a los visitantes del Club Providencia

Artefacto	N°	Q [l/uso]
Lavamanos	33	1,9
Duchas	21	50
Piscina	1	1120

Los caudales asociados a un día y a un uso fueron obtenidos de la calculadora de ahorro de agua ofrecida por Wasser (Wasser, 2023).

Al realizar los cálculos correspondientes tanto para los trabajadores como visitantes, se obtienen los caudales de la Tabla 0.3 del Anexo B. Las cantidades de visitantes consideran la suma total entre el sector de Jorge Matte Gormaz y Pocuro, y equivale al promedio mensual obtenido de los datos entregados por transparencia. Por otro lado, se considera que solo un 50% de los visitantes utiliza los lavamanos y un 20% de los visitantes utilizan las duchas del recinto.

Estos valores, comparados con los valores de consumo total de agua para los meses asociados (Tabla 0.4) y con un 60% de este valor (Aproximación de aguas grises generadas por artefactos asociados, Tabla 0.5), se incluyen en el Anexo B.

A partir de estos valores, es posible ver que no todos los valores calculados cumplen con permanecer por debajo de los consumos mensuales totales del mes. Además, los valores calculados en los meses cercanos al inicio del invierno (Mayo-Junio) y cercanos al inicio de la primavera (Agosto/Septiembre) son considerablemente más altos que los valores aproximados de producción de aguas grises. Esto puede deberse a la naturaleza más simple del modelo propuesto, el cual no considera variaciones en el comportamiento de la gente en torno al consumo de agua en distintos meses del año.

Con todo lo anterior, la alternativa no cumple con la expectativa de ser un buen acercamiento a la generación de aguas grises del Club Providencia debido a su sobreestimación.

Alternativa B

Para la Alternativa B, se presentan a continuación los valores adoptados para las variables presentadas:

Tabla 3.3: Valores adoptados para variables de Alternativa B.

Variable	Unidades	Valor Adoptado
Consumo Trabajador	[l/persona/día]	150
Consumo Visitante	[l/persona]	120

Aporte Duchas	[%]	35
Aporte Lavamanos	[%]	17,7
Número de Trabajadores	[-]	170

Al realizar los cálculos correspondientes tanto para los trabajadores como visitantes, se obtienen los caudales de la Tabla 0.6. Las cantidades de visitantes consideran la suma total entre el sector de Jorge Matte Gormaz y Pocuro, y equivale al promedio mensual obtenido de los datos entregados por transparencia.

Estos valores, comparados con los valores de consumo total de agua para los meses asociados (Tabla 0.7) y con un 60% de este valor (Aproximación de aguas grises generadas por artefactos asociados, Tabla 0.8), se presentan en el Anexo B

Es posible ver, a partir de estos datos, que todos los caudales mensuales cumplen con permanecer por debajo de los caudales totales del mes. Además, es posible ver en la Figura 3.1 que siguen la misma tendencia, aunque los valores aproximados fluctúan más entre meses. Al igual que el caso anterior, esto puede deberse a que se excluyen los hábitos de consumo de agua del modelo a seguir.

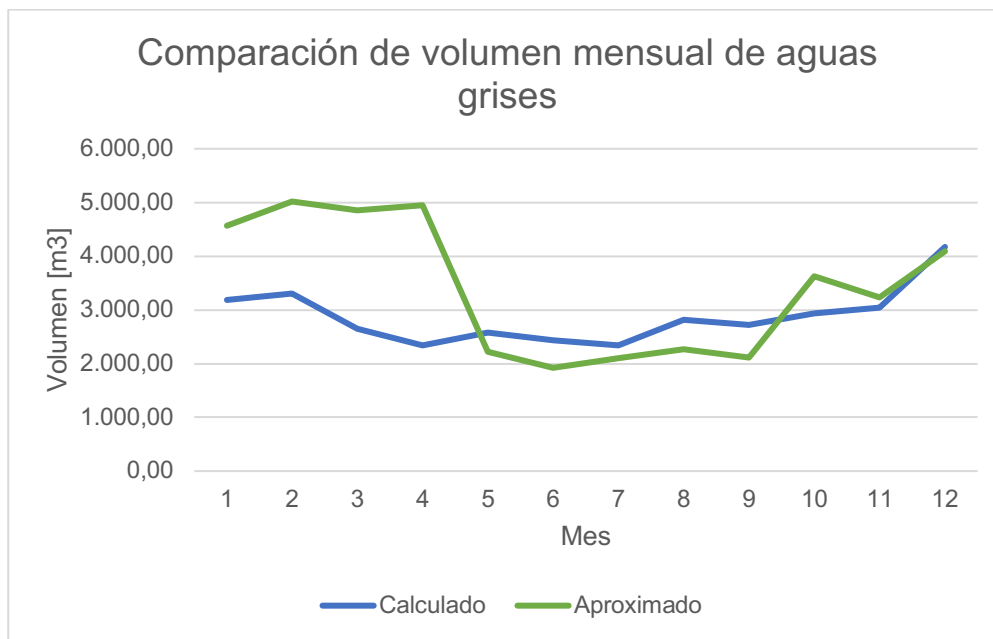


Figura 3.1: Comparación de tendencia del volumen de aguas grises calculado v/s el volumen aproximado

Con todo lo anterior, esta alternativa presenta una buena aproximación para los caudales de agua gris generados. Sin embargo, la cantidad de agua diaria que se puede recuperar son 94,6 m³/día a diferencia de los 185,2 m³/día requeridos.

Finalmente, a partir de los caudales obtenidos de la alternativa B, se adopta el caudal máximo diario como caudal de diseño, el cual corresponde al mes de febrero con 117,9 m³/día.

3.2 Sistemas de Tratamiento

Se analizarán 3 configuraciones distintas para el tratamiento de aguas grises para su reúso:

- Cámara Desgrasadora – Humedal Construido – Cloración
- Cámara Desgrasadora – Humedal Construido – Radiación UV
- Sistema Prefabricado

La finalidad de analizar más de una configuración es poder comparar cómo afectan los distintos componentes al tratamiento de las aguas grises y poder tomar una decisión informada en cuanto a replicar el sistema en otros recintos.

3.2.1 Cámara Desgrasadora

Para la cámara desgrasadora se adoptará un tiempo de retención de 1 hora, lo cual cumple con las regulaciones nacionales y se acerca a las recomendaciones internacionales. Además, según la estimación de remoción de SST con el tiempo de retención de 1 hora, se reducirá carga del contaminante en aproximadamente 46,5%.

Siguiendo los procedimientos descritos en la metodología nos entrega una cámara desgrasadora con las siguientes características:

Cámara Desgrasadora:

- Volumen: 5,4 m³
- Caudal de Diseño: 4,9 m³/h
- Tiempo de Retención: 1 h
- Eficiencia de Remoción esperada SST: 46%
- Eficiencia de Remoción esperada DBO₅
- Remoción de Sólidos al día: 6 kg/día
- Capacidad Máxima de Carga: 98,25 kg
- Frecuencia de limpieza: 14 días

Según las recomendaciones de ESVL, se le darán dimensiones de 1,5 m de ancho, 2,4m de largo y 1,5m de profundidad. Además, se separa el contenedor en 2 partes, la primera ocupando 2/3 del volumen total y la segunda el 1/3 del volumen

restante, como se muestra en la Figura 2.4. Con estas dimensiones, se asegura que los sólidos atrapados no forzarán el rebalse de la cámara cuando se encuentre en operación.

Para este caso, se utilizará hormigón impermeabilizado de al menos 0,2m de espesor para cumplir con las recomendaciones realizadas por ESVAL. Por otro lado, la tubería de entrada tendrá un diámetro nominal de al menos 200mm en cumplimiento de la norma chilena NCh1105, mientras que la de salida podrá variar dependiendo del acoplamiento que se tenga con los otros sistemas propuestos.

El estanque deberá contar con al menos una cámara de inspección, un sistema de ventilación y un sistema de rebalse que dirija el agua directamente al alcantarillado en caso de que el sistema presente problemas aguas abajo.

Considerando la eficiencia de remoción esperada, se espera que el efluente de esta tenga una concentración de SST de 32,7 mg/L y DBO₅ de 55 mg/L.

3.2.2 Sistema humedal construido + cloración/Tratamiento UV

El sistema humedal construido – cloración debe ser iterado varias veces para poder obtener una configuración que permita alcanzar las concentraciones máximas exigidas por el manual de aguas grises y que quepa en el espacio libre disponible. En este caso.

En primer lugar, al aplicar el modelo p-k-C*, con el caudal de diseño, las concentraciones de entrada estipuladas en la cámara desgrasadora, junto con los coliformes fecales y considerando p=2, es posible ver que las áreas requeridas para alcanzar los objetivos de tratamiento son considerablemente mayores que el espacio disponible (ver Tabla 3.4).

Tabla 3.4: Primera iteración áreas humedal construido para objetivos de tratamiento.

DBO 5	Cantidad	Unidad	SST	Cantidad	Unidad	CF	Cantidad	Unidad
k	0,13	m/dia	k	2,74	m/dia	k	0,28	m/dia
Ci	55	mg/L	Ci	32,7	mg/L	Ci	2,36E+03	UNT/100ml
Co	30	mg/L	Co	30	mg/L	Co	200	UNT/100ml
C*	3	mg/L	C*	10,332	mg/L	C*	0	UNT/100ml
Areq	726,155	m2	Areq	5,723	m2	Areq	1454	m2

Junto con esto, se debe considerar el espacio necesario para el sistema de cloración y de ser posible, un estanque de acumulación que considere el volumen diario de al menos 100m³.

Para lo mismo, se le destina un espacio de al menos 16m² para integrar un cobertizo que permita alojar el sistema de cloración, considerando un dosificador que cumpla con las características de la Figura 2.6. Para el estanque de acumulación, se elige un estanque cilíndrico de fibra de vidrio de 100m³, el cual tiene un diámetro de 3,2m y un largo de 13m, dejando una huella en planta de 41,6 m².

Dadas las condiciones anteriores, se tienen las siguientes áreas:

Tabla 3.5: Consideraciones de espacio para sistema humedal construido-cloración

Módulo	Área [m ²]
Área total disponible	497,25
Cámara Desgrasadora	3,6
Cloración	16
Estanque de Acumulación	41,6
Espacio disponible Humedal Construido	436,05

El espacio disponible es de 15,5x32,1m², por lo que se sugiere disponer de los elementos de la siguiente forma:

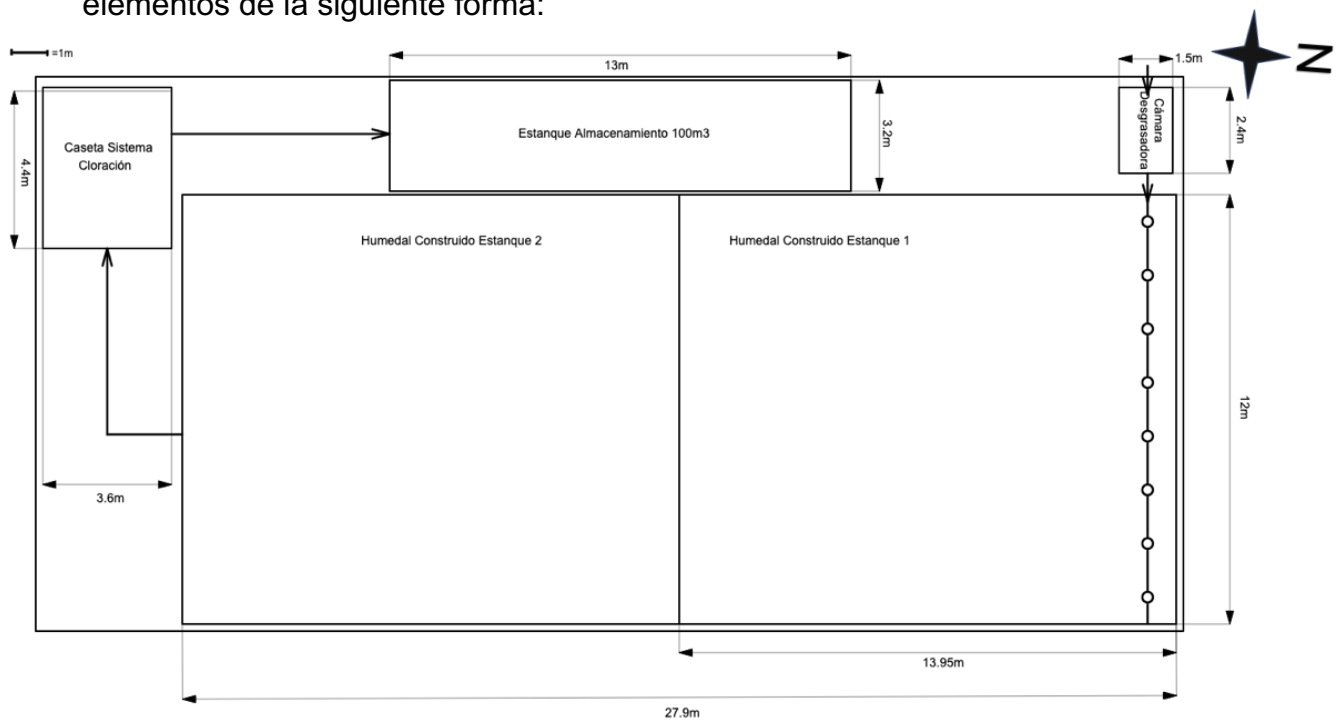


Figura 3.2: Esquema disposición de elementos del sistema humedal construido-cloración

Así, el tamaño máximo del humedal será de 334,8m², con un ancho de 12m y un largo de 27,9m. Esto entregará un tiempo de retención de aproximadamente 1 día, considerando una profundidad promedio de 1m y una porosidad de 0,35. También se selecciona para plantar *Phragmites Australis*, las cuales tienen un crecimiento rápido y son comúnmente utilizadas para tratamiento en humedales construidos. Con esta área, es posible determinar que no se dispone del espacio suficiente para tratar la totalidad del caudal máximo.

Como se vio en la Tabla 3.4, la remoción de la DBO₅ es finalmente el factor que condicionará el tamaño del humedal. Esto ya que, como se espera que no sea suficiente el espacio para tratar los coliformes fecales, se pueden cambiar las condiciones de operación del sistema de cloración para asegurar una calidad que cumpla con los estándares normativos para riego.

Considerando lo anterior y despejando la ecuación del modelo p-K-C* para el caudal en vez del área con los mismos objetivos de tratamiento, es posible ver que el caudal máximo tratable por este sistema es de 54,4 m³/día.

Con este nuevo valor de caudal y el área, se puede despejar la concentración de salida C_o en el modelo p-K-C* para los coliformes fecales (Tabla 3.6).

Tabla 3.6: Cálculo de concentración de coliformes fecales en efluente de Humedal Construido.

Variable	Valor	Unidades
k	0,28	m/día
C _i	2,36E+03	UNT/100 ml
C*	0	UNT/100 ml
A	334,8	m ²
Q	54,27	m ³ /día
C_o	658	UNT/100 ml

Luego, con este valor, se puede calcular el valor de la dosificación de cloro requerida, considerando los valores para b=4,0 y n=2,8 recomendados por la literatura. Además, se toma un caso más desfavorable donde solo se tiene un tiempo de contacto de 1 minuto dentro de las tuberías y hacia el exterior. Por lo tanto, considerando el valor inferior de la Tabla 2.3, se obtiene que la dosificación deberá ser:

$$\text{Dosificación de Cloro} = 6,12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{Calculada}) + 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{Mínima residual}) = 6,62 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

En particular, se elige instalar 1 dosificador “off-line” o fuera de línea, el cual funcionaría siempre en la dosis estipulada anteriormente. Considerando el valor obtenido, se puede calcular que este sistema consumirá cerca de 2,5kg de cloro a la semana. Si se selecciona un clorador con una capacidad de 3,6kg, se puede realizar un recambio de cloro una vez a la semana.

Por otro lado, de considerarse el sistema de desinfección con radiación ultravioleta, se puede ver de la tabla Tabla 2.8 que el sistema requerirá una dosis promedio de 25-50 mJ/cm² para alcanzar una concentración de 200 UNT/100 ml.

Los costos de los materiales requeridos para implementar el sistema completo se presentan a continuación:

Tabla 3.7: Resumen de costos y cantidades para sistema humedal construido-cloración

Ítem	Unidad	Precio Unit.	Cant.	Total	Fuente
Cámara Desgrasadora					
Movimiento de Tierra	m3	0,125	7,98	1,00	PU of. DGC
Tuberías 200mm PVC	ml	0,137	2	0,27	Copeval
Tuberías 50mm PVC	ml	0,064	1	0,06	Sodimac
Cámaras de inspección	un	0,750	2	1,50	Sodimac
Válvulas	un	0,57	3	1,71	Sodimac
Tee	un	0,04	1	0,04	Easy
Hormigón	m3	1,94	3,05	5,92	PU of. DGC
Humedal Construido					
Movimiento de tierra	m3	0,125	344,8	43,10	PU of. DGC
Geotextil	m2	0,053	424,6	22,50	PU of. DGC
Tuberías Perf. 110mm	ml	0,058	24	1,39	Ferretank
Tuberías 50mm PVC	ml	0,064	6	0,38	Sodimac
Cámaras de Inspección	un	0,750	1	0,75	Sodimac
Tee	un	0,04	2	0,08	Easy
Válvulas	un	0,57	2	1,14	Sodimac
Medio Poroso	m3	0,462	344,8	159,30	PU of. DGC
<i>Phrag. Australis</i>	un	0,17	1000	170,00	Acuaticas
Caudalímetro	un	4,52	1	4,52	Hydrobytes
Cloración					
Bodega Prefabricada	un	17,26	1	17,26	Mercadolibre
Clorador tabletas	un	1,64	1	1,64	Perfect Pool
Tuberías 50mm PVC	ml	0,064	10	0,64	Sodimac
Válvulas	un	0,57	5	2,85	Sodimac
Bombas Impulsión	un	9,59	1	9,59	MiFerreteria
Caudalímetro	un	4,52	1	4,52	Hydrobytes

Estanque Acum.					
Estanque prefabricado 100m ³	un	125,67	1	125,67	Acuasud
Válvulas	un	0,57	2	1,14	Sodimac
Tuberías 50mm PVC	ml	0,064	6	0,38	Sodimac

El precio total de la obra con sistema de cloración es de 577,364 UF o 21.073.782 CLP con la UF al 17 de noviembre de 2023 (36.500,68 CLP). Si se elige el sistema de desinfección Ultravioleta, el costo asciende a 590,99 UF o 21.570.962 CLP.

Cabe notar que no se consideran los costos constructivos como horas hombre o arriendo de maquinaria, además de asumir que el costo del terreno es 0, ya que sería en directo beneficio de la comuna de Providencia, quien es dueña del terreno donde se emplaza el club.

En términos de operación y mantenimiento, se pueden desglosar los siguientes ítems:

Cámara desgrasadora

- Según los cálculos hechos en la sección 3.2.1, la cámara debe ser limpiada al menos cada 14 días. Sin embargo, según las recomendaciones de ESVAL, la limpieza debe hacerse al menos cada 7 días para asegurar un funcionamiento óptico y continuo. Los costos por este servicio son variables, pero se pueden asimilar a una limpieza de fosa séptica. El servicio puede costar entre 40.000 y 60.000 pesos por visita.
- Se le debe hacer mantención al menos 2 veces al año para asegurar que no haya filtraciones o daños, acumulación de sólidos en las entradas, etc.

Sistema de Humedal Construido

- Al comenzar a operar, se debe asegurar de que no haya impedimentos para la vegetación y que esta esté creciendo normalmente. Se pueden hacer pruebas previas al inicio de la implementación, probando cómo reaccionan las plantas a las características del agua que buscan tratar.
- Los humedales construidos son conocidos por requerir poca mano de obra para la operación y el mantenimiento una vez implementados. Se debe asegurar que las plantas no crezcan fuera de control y revisar que el sistema funciona normalmente, tomando pruebas según lo indicado en el manual de aguas grises del MINSAL. En este caso, al ser un sistema de más de 14 m³/día, se deben tomar muestras compuestas con frecuencia mensual.

- Finalmente, se recomienda hacer un seguimiento constante a las estructuras de control de flujo de entrada. Estas son más susceptibles a obstrucciones que las estructuras de salida, y deben ser mantenidas al menos cada un par de años, o más frecuentemente de ser necesario.

Cloración

- Las pastillas de cloro deberán ser rellenadas una vez a la semana. Dentro del mismo cobertizo, se podrán almacenar dichas pastillas en un lugar donde no se vean afectadas por el ambiente. cloro en tabletas puede variar su precio entre 3.500 y 30.000 pesos, dependiendo del porcentaje de disponibilidad de cloro en su composición, formato, etc.

Radiación Ultravioleta

- A grandes rasgos, la desinfección UV requiere pocos cuidados para la operación, pero bastante para la mantención: El sistema debe ser monitoreado para verificar que la(s) lámpara(s) están funcionando correctamente, las cuales tienen una vida útil de alrededor de 9.000 horas o 1 año, momento en el que deben ser reemplazadas. Finalmente, se deben considerar los costos energéticos de mantener encendidas las ampolletas constantemente.

Estanque de acumulación

- Como se menciona en el reglamento de reúso de aguas grises, el estanque de acumulación debe ser limpiado por lo menos una vez al año, y más frecuentemente si se detecta que la calidad del efluente puede estar siendo afectada por suciedad.

A continuación, se presenta la evaluación correspondiente al sistema estudiado.

Tabla 3.8: Evaluación del sistema humedal construido propuesto

Clasificación	Tipo	Descripción
Técnico	Eficiencia de Tratamiento	El sistema es capaz de alcanzar los objetivos de tratamiento, pero en condiciones distintas a las estipuladas originalmente. Particularmente, con un caudal más bajo del estipulado.
	Disponibilidad de Espacio	No es factible implementar el sistema de humedal construido en el espacio disponible que cumpla con todos los requerimientos estipulados inicialmente. El sistema modificado se adecúa al espacio disponible.

	<p>Mantenimiento y Operación</p>	<p>La operación y el mantenimiento son relativamente sencillos y no requieren personal previamente calificado para realizarse.</p>
	<p>Costos</p>	<p>Los costos están mayoritariamente enfocados a la inversión inicial. Una vez implementado, la mayor parte de los costos estarán enfocados en los sistemas anexos.</p> <p>Para el Humedal Construido, el precio de inversión será de al menos 577,364UF, mientras que el precio calculado para la operación es estimable a partir del tamaño del humedal. En este caso, el precio de mantenimiento es de 1,65 UF al año.</p> <p>Para el resto de las estructuras, los costos de mantenimiento anuales ascienden a los 76,71 UF, quedando el total de costos por mantenimiento y operación en 78,36 UF/año.</p> <p>Por lo anterior, con una tasa de descuento anual real del 6%, el Valor Presente Neto del proyecto asciende a 1.655,99 UF.</p> <p>Por otro lado, la Superintendencia de Servicios Sanitarios, desglosa el cobro de agua por m³ de agua potable entregado, y además cobra por m³ de agua que se descarga al alcantarillado. Sobre esto último, las empresas sanitarias toman el supuesto de que solo un porcentaje del agua potable entregada vuelve al alcantarillado, pero esta estimación es fija y depende directamente del volumen de agua potable distribuida y se ve reflejado en el precio por m³ de agua servida. Esto implica que, aunque una parte del agua mayor no se devuelva al sistema de</p>

		<p>alcantarillado, este valor no será descontado de la cuenta de agua mensual</p> <p>Sin embargo, sí se dejará de consumir un volumen mensual de agua potable, y en base a las tarifas entregadas por la SISA el año 2023, el m³ de agua potable en la comuna de Providencia cuesta 522,69 CLP, mientras que el m³ de aguas servidas 664,25 CLP. Por lo anterior, con un volumen anual de 19.808,55 m³ de agua que se deja de consumir, se ahorran 645,75 UF al año, por lo tanto, se puede esperar un retorno de la inversión desde el segundo año en adelante.</p> <p>El costo de m³ de agua tratado queda en 795 CLP/m³ para la configuración con tratamiento biológico basado en cloración.</p> <p>El costo de m³ de agua tratado queda en 824 CLP/m³ para la configuración con tratamiento biológico basado en radiación ultravioleta.</p>
	Vida Útil	<p>Los humedales construidos tienden a proyectarse para tener vidas útiles entre los 20 y 50 años dependiendo de cómo se mantengan. Por lo mismo, se estima en torno a los 30 años como valor conservativo.</p> <p>Por otro lado, los componentes como el clorador u otras estructuras pueden requerir mayor atención por desgaste o daños.</p>
Ambiental	Consumo de agua potable	<p>Como se menciona, se puede reducir el gasto de agua potable en riego en hasta 54,27 m³/día (19.808,55 m³/año), lo que es aproximadamente un 30% del agua total que se buscaba reciclar originalmente.</p>

		<p>Esto implica que es posible regar 4.522,5 m³ de áreas verdes al día. Si bien esto no alcanza para regar el bandejón central de Pocuro como se planeaba inicialmente, sí es posible lograr que el riego interno del Club Providencia sea autosuficiente y no requiera consumo de agua potable, ya que las áreas verdes se estiman en aprox. 4.100m² (sin considerar el espacio utilizado para la instalación del humedal).</p>
	Generación de aguas residuales	<p>El sistema hará que se reduzca la producción de aguas residuales en 19.808,55 m³/año.</p>
	Impactos Ambientales	<p>El sistema es amigable con el medio ambiente, ya que reduce el consumo de agua potable y genera un espacio parecido a un jardín, lo que tiene un valor ornamental importante.</p> <p>Por otro lado, es importante denotar que existe una aversión al concepto de las aguas grises, y su utilización puede estar mal vista por la comunidad, por lo que se debe ser cuidadoso con la implementación.</p> <p>También se debe destacar que algún fallo en el sistema puede ser perjudicial para la operación del recinto, ya que se pueden provocar malos olores y puede significar un riesgo para la salud de los visitantes y trabajadores del club.</p>
	Impacto en la comunidad	<p>El sistema generará conciencia del reúso de aguas grises y de la importancia de la utilización de sistemas basados en la naturaleza para este fin.</p>

3.2.3 Sistema Prefabricado

El sistema prefabricado se hará en base al sistema Azud Watertech GW DU5, expuesto anteriormente en la Tabla 1.7. Esta planta de tratamiento compacta presentada por la empresa alemana Azud es capaz de tratar hasta 5 m³/h (120 m³/día) y cuenta con el siguiente sistema de tratamiento:

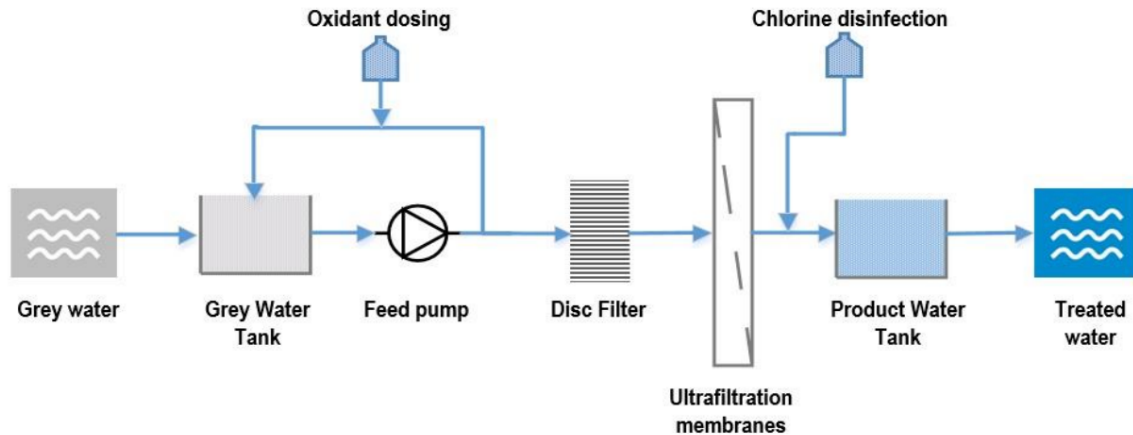


Figura 3.3: Esquema de tratamiento del sistema Azud GW DU5

La planta cuenta con algunos requerimientos previos a su utilización, y en el manual de operación, se especifican ciertos rangos de valores de contaminantes dentro de los cuales la planta puede operar, asegurando una cierta calidad esperada en su efluente

Tabla 3.9: Parámetros máximos de entrada del sistema Azud Watertech GW DU5

Parámetro	Uds.	Valor
Sólidos en Suspensión Totales (TSS)	mg/l	≤150
Turbidez	mg/l	≤200
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	≤150
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	≤300
Aceites y grasas	mg/l	≤0,1
Carbono Orgánico Total (TOC)	mg/l	≤15
Cloro	mg/l	≤1

Para estos valores de entrada, la planta asegura los parámetros del efluente presentados en la Tabla 3.10. Los valores presentados cumplen a cabalidad con los objetivos de tratamiento establecidos por el reglamento de aguas grises en la Tabla 2.3.

Tabla 3.10: Parámetros de efluente sistema Azud Watertech GW DU5

Parámetro	Uds.	Valor
Sólidos en Suspensión Totales (TSS)	mg/l	≤10
Turbidez	mg/l	≤2
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	≤10
Coliformes Fecales	UFC/100ml	≤10
Cloro residual	mg/l	0,5-2,0

En términos de espacio, la planta tiene una huella de 3,0Lx0,8Ax2,3H, por lo que el espacio donde se emplazaría solo debería sufrir pequeñas modificaciones, como la instalación de un cobertizo donde se pueda instalar. Los estanques de homogenización y de acumulación pueden ser instalados por separado, pero no contemplan el volumen total de agua tratada.

En términos de operación y mantenimiento, una vez instalado, el manual asegura de que la planta es totalmente independiente y no requiere personal calificado para su operación. Su funcionamiento tiene asociado un gasto energético de 7,9 kW. Esta automáticamente realiza calibraciones para dosificación de cloro, funcionamiento de la bomba de impulsión y retrolavado. El manual no especifica cantidades, pero indica que se deben considerar consumibles como coagulantes y floculantes para eliminación de detergentes y jabones en pretratamiento, hipoclorito sódico, para oxidación, limpieza CEB (Chemically Enhanced Backwash) y desinfección final.

En términos de costos, a septiembre del 2023, el módulo DU5 tiene un valor neto de 6.424.561 CLP o 176,07 UF. Sin embargo, sin las cantidades exactas, no es posible determinar el costo de operación de la planta.

A continuación, se presenta la evaluación correspondiente al sistema estudiado.

Tabla 3.11: Evaluación del sistema con planta prefabricada

Clasificación	Tipo	Descripción
Técnico	Eficiencia de Tratamiento	El sistema es capaz de alcanzar los objetivos de tratamiento dadas las condiciones correctas para su operación.
	Disponibilidad de Espacio	La planta prefabricada está optimizada para el espacio y se puede instalar en espacios reducidos.
	Mantenimiento y Operación	La operación y el mantenimiento son relativamente sencillos y no requieren personal previamente calificado para realizarse.

		<p>Los consumibles para operación normal deben ser aclarados para asegurar el correcto funcionamiento de la planta.</p>
	Costos	<p>Los costos del sistema están enfocados en la compra e instalación del sistema, junto con un estanque de acumulación final.</p> <p>El costo neto del producto es de 176,07 UF, lo que incluye todos los módulos necesarios para la operación de la planta.</p> <p>Los costos operaciones, si bien no se tiene un valor exacto para sus consumibles, se sabe que tiene una potencia de 7,9 kW, y asumiendo que trabajará todo el día, esto se traduce en 69.204 kWh en un año. A un valor de 375,28 CLP/kWh, se llega a que, en un año, el sistema cuesta 709,63 UF.</p> <p>Se dejará de consumir un volumen mensual de agua potable, y en base a las tarifas entregadas por la SISS el año 2023, el m³ de agua potable en la comuna de Providencia cuesta 522,69 CLP, mientras que el m³ de aguas servidas 664,25 CLP. Por lo anterior, con un volumen anual de 34.529 m³ de agua que se deja de consumir, se ahorran 1122,84 UF al año, por lo tanto, se puede esperar un retorno de la inversión desde el segundo año en adelante.</p> <p>Con una vida útil aproximadamente de 10 años, el VAN del proyecto es 5222,97 UF, dejando el precio de m³ de agua tratado sin considerar los costos operativos en casi 3.344 CLP/m³.</p>
	Vida Útil	<p>Según las recomendaciones del fabricante, dependiendo del uso de la planta, esta puede tener una vida útil de entre 10 y 20</p>

		años, y se puede extender con mantenimiento constante.
Ambiental	Consumo de agua potable	<p>Como se menciona, se puede reducir el gasto de agua potable en riego en hasta 94,6m³/día (34.529 m³/año). Esto corresponde al total de aguas grises que se estiman se producen en el Club Providencia al año.</p> <p>Esto implica que es posible regar 7883,3m³ de áreas verdes al día. Esto es suficiente para asegurar el riego completo del bandejón central de avenida Pocuro, o puede ser utilizado para riego interno del Club Providencia, junto con el riego de las canchas de Tenis del Club.</p>
	Generación de aguas residuales	El sistema hará que se reduzca la producción de aguas residuales en 34.529 m ³ /año.
	Impactos Ambientales	<p>El sistema es amigable con el medio ambiente, ya que reduce el consumo de agua potable y lo hace en un espacio confinado y lejos del espacio utilizado por los visitantes.</p> <p>Al estar completamente confinado, no se espera que se generen problemas de olores o disturbios en caso de fallas. Además, el sistema cuenta con sistema "failsafe" donde se pueden redirigir las aguas directamente al alcantarillado en caso de fallas.</p>
	Impacto en la comunidad	El sistema generará conciencia del reúso de aguas grises y curiosidad en los sistemas de reutilización de aguas grises comerciales que pueden ser instalados en hogares.

4. Conclusiones

En el análisis de los sistemas de reutilización de aguas grises, se observaron dos opciones principales: el sistema de humedal construido y el sistema prefabricado. Cada uno de estos sistemas presenta ventajas y desventajas únicas que deben considerarse al tomar una decisión.

El sistema de humedal construido es una opción atractiva desde el punto de vista económico. Este sistema muestra tener un costo de inversión inicial más económico que la opción prefabricada, lo que puede ser un factor decisivo para muchos proyectos. Sin embargo, este ahorro en costos viene con una desventaja significativa: el sistema de humedal construido es menos eficiente que la opción prefabricada. Esta menor eficiencia se debe principalmente al hecho de que el sistema de humedal construido requiere más espacio para su implementación y no es capaz de tratar toda el agua de la que se dispone. Esto puede ser un problema en situaciones donde el espacio es limitado, como lo es en este caso, o costoso, de implementarse en áreas donde el terreno debe ser adquirido.

Por otro lado, aunque la inversión inicial para el sistema de humedal construido puede ser mucho mayor que para el sistema prefabricado, los costos de operación y mantenimiento (O&M) posteriores son mucho más reducidos, sobre todo considerando que los costos operativos del sistema prefabricado son mayores a los del humedal construido aun prescindiendo de la información relevante sobre los consumibles que este abarca los cuales aumentarían más el costo por m³ tratado.

Esto significa que, aunque el costo inicial puede ser más alto, los costos a largo plazo pueden ser significativamente más bajos. Esto puede hacer que el sistema de humedal construido sea una opción más atractiva si el presupuesto de Operación & Mantenimiento fuese más limitado.

Para mejorar la calidad del estudio, se pueden adoptar las siguientes recomendaciones:

- Implementar una toma de muestras iniciales para obtener datos más precisos y representativos. Este estudio se basó en la literatura para obtener aproximaciones de la calidad del agua de un club deportivo, por lo que, con información más concreta, sería posible mejorar y optimizar los cálculos. Esta variable es la que genera mayor incertidumbre y puede ser mejorada en estudios futuros.

- Realizar modelos piloto para evaluar la eficacia de los sistemas de humedales contruidos en condiciones controladas antes de su implementación a gran escala. Esto podría proporcionar información valiosa sobre cómo optimizar el sistema final a implementar
- Conseguir información sobre los consumibles de la planta prefabricada para estimar sus costos operacionales completos para comparar si el costo de estos puede compensarse con el espacio que se ahorra con el sistema.
- Considerar otros espacios dentro de la comuna que puedan ser adecuados para la implementación de estos sistemas. Esto podría implicar la realización de un estudio de factibilidad para identificar otras áreas potenciales para la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises.

Estas mejoras podrían ayudar a obtener resultados más precisos y a hacer recomendaciones más informadas para la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises en el futuro. En última instancia, la meta es mejorar la eficiencia y la rentabilidad de estos sistemas para promover un uso más sostenible del agua.

Finalmente, se recomienda que a futuro se estudie la opción de integrar un sistema de reciclaje de aguas grises con un sistema de captación de aguas lluvias para maximizar la cantidad de agua que puede reutilizarse dentro de la comuna, no necesariamente dentro del Club Providencia solamente. Por otro lado, también sería interesante evaluar la opción de acoplar ambos sistemas (Humedal Construido y planta prefabricada) para entender sus posibles ventajas.

Bibliografía

- Aguas Andinas. (2023, Febrero). Reporte integrado 2022. *Reporte integrado 2022*.
- Albalawneh, A., & Chang, T.-K. (2015, Diciembre). Review of the greywater and proposed greywater recycling scheme for agricultural irrigation reuses. *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*, 3, 16–35. doi:10.29121/granthaalayah.v3.i12.2015.2882
- American Water Works Association. (2015). *Greywater Reuse*. CRC Press.
- Amiri, M. J., Bahrami, M., Badkouby, M., & Kalavrouziotis, I. K. (2019, Febrero). Greywater Treatment Using Single and Combined Adsorbents for Landscape Irrigation. *Environmental Processes*, 6, 43–63. doi:10.1007/s40710-019-00362-1
- Benami, M., Gillor, O., & Gross, A. (2016). Potential Health and Environmental Risks Associated with Onsite Greywater Reuse: A Review. *Built Environment*, 212-229.
- Bernstein, A., Siebner, H., Kaufman, A., & Gross, A. (2021). Onsite Chlorination of Greywater in a Vertical Flow Constructed Wetland—Significance of Trihalomethane Formation. *Water*.
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., . . . Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment*, 711, 134731. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134731
- Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Ang, M. (Abril de 2013). A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology*, 67, 1403–1424. doi:10.2166/wst.2013.675
- Cecconet, D., Callegari, A., Hlavínek, P., & Capodaglio, A. G. (2019). Membrane bioreactors for sustainable, fit-for-purpose greywater treatment: a critical review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 745–762.
- Club Providencia. (s.f.). *Club Providencia*. Retrieved from <https://clubprovidencia.cl/quienes-somos/>
- Colorado Water Resources Research Institute. (2004). *Individual Home Wastewater Characterization and Treatment*. Denver: Colorado State University.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Duttle, M. (1996). Safe use of household greywater. *Safe use of household greywater*. Retrieved from https://pubs.nmsu.edu/_m/M106/#:text=USES%20FOR%20GREYWATER,%2C%20ornamentals%2C%20and%20food%20crops.

- Elhegazy, H., & Eid, M. M. (2020, Noviembre). A state-of-the-art-review on grey water management: a survey from 2000 to 2020s. *Water Science and Technology*, 82, 2786–2797. doi:10.2166/wst.2020.549
- ESVAL S.A. (2002). *Estándar Técnico OC 03-00 Rev 2 "Cámaras Interceptoras de Grasas y Aceites"*.
- Gabarró, J., Batchellí, L., Balaguer, M. D., Puig, S., & Colprim, J. (2013, Junio). Grey water treatment at a sports centre for reuse in irrigation: A case study. *Environmental Technology*, 34, 1385–1392. doi:10.1080/09593330.2012.750382
- Ghunmi, L. A., Zeeman, G., Fayyad, M., & van Lier, J. B. (2011, Marzo). Grey Water Treatment Systems: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41, 657–698. doi:10.1080/10643380903048443
- Hoda, M. N., & Rahman, F. (2022). Green Hotel Design Strategies in the Context of Bangladesh: Scopes for Architectural Interventions. In *Innovations in Green Urbanization and Alternative Renewable Energy* (pp. 3–14). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-031-07381-6_1
- Imhof, B., & Mühlemann, J. (2005). *Greywater treatment on household level in developing countries – a state of the art review*. Zurich: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG), Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- INN. (2019, Julio). Ingeniería sanitaria — Alcantarillado de aguas residuales — Diseño y cálculo de redes.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2022). *Diseño funcional de sistemas de filtración directa a presión*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands*. CRC Press.
- Leiva, E., Sánchez, R., Serrano, J., Schneider, N., Alvial, C., & Rodríguez, C. (2021). Reutilización de aguas grises en Chile: propuesta de implementación en comunidades rurales como alternativa de mitigación para la escasez hídrica. In C. d. UC, *Propuestas para Chile. Concurso de Políticas Públicas 2020* (pp. 173-209). Santiago.
- Lenntech. (s.f.). *Grey water recycling and MBR*. Retrieved from <https://www.lenntech.fr/applications/irrigation/grey-water.htm>
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009, Mayo). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of The Total Environment*, 407, 3439–3449. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.02.004
- Metcalf, L., Eddy, H. P., & Tchobanoglous, G. (2013). *Wastewater engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill.
- Ministerio de Obras Públicas. (Febrero de 2018). Regula la recolección, reutilización, y disposición de aguas grises. *Regula la recolección, reutilización, y disposición de aguas grises*.

- Ministerio de Salud. (2018, Febrero). Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises.
- Municipalida de Providencia. (2023). *MEMORIA CLUB PROVIDENCIA AÑO 2022*.
- Nolde, E. (2005, Mayo). Greywater recycling systems in Germany — results, experiences and guidelines. *Water Science and Technology*, 51, 203–210. doi:10.2166/wst.2005.0368
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. (2018, Julio). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229. doi:10.1007/s11270-018-3909-8
- Patel, P., Gupta, S., & Mondal, P. (2022). Electrocoagulation process for greywater treatment: Statistical modeling, optimization, cost analysis and sludge management. *Separation and Purification Technology*, 296, 121327. doi:https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121327
- Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S. A., Liu, S., . . . Jefferson, B. (2008, Marzo). Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere*, 71, 147–155. doi:10.1016/j.chemosphere.2007.10.046
- Priyanka, K., Remya, N., & Behera, M. (2020, Noviembre). Greywater treatment using modified solar photocatalyst- degradation, kinetics, pathway and toxicity analysis. *Separation and Purification Technology*, 251, 117319. doi:10.1016/j.seppur.2020.117319
- Ramezaniapour, M., & Sivakumar, M. (2012). Green technology options for greywater treatment. *Conference: 27th National convention of environmental engineers. At: Mangalore local centre, Karnataka, India*.
- Shi, K.-W., Wang, C.-W., & Jiang, S. C. (2018). Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse. *Science of The Total Environment*, 1507-1519.
- UNEP. (2014). *Green infrastructure guide for water management*. IUCN Library System. Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/node/44769>
- Wasser. (2023, Agosto 2023). *Calculadora de Ahorro de Agua*. Retrieved from Wasser: <https://wasser.cl/sobre-wasser/medio-ambiente/>

Anexo

A. Consumo Medido de Agua

Tablas de consumo mensual de agua en Club Providencia por sector hasta Abril 2023.

Tabla 0.1: Consumo mensual de agua en Club Providencia sector Pocuro

Consumo	2022			Estado	Asistentes únicos	Asistencia mensual
	Monto mes	Consumo mes m3	N° Factura			
Enero	3,448,080	2,748	6204173	Pagada	1,637	10,510
Febrero	7,242,240	4,760	6259116	Pagada	1,080	5,848
Marzo	5,528,240	3,699	6315162	Pagada	1,197	7,956
Abril	4,739,880	3,286	6368267	Pagada	1,572	10,154
Mayo	2,224,130	2,119	6427748	Pagada	1,704	13,006
Junio	1,698,840	1,581	6481542	Pagada	1,573	11,419
Julio	1,681,370	1,564	6539076	Pagada	1,435	10,333
Agosto	2,271,190	2,034	6592304	Pagada	2,083	16,077
Septiembre	2,158,450	1,933	6646699	Pagada	2,110	15,530
Octubre	2,926,830	2,522	6701451	Pagada	2,458	17,990
Noviembre	3,428,040	2,954	6755601	Pagada	2,581	19,226
Diciembre	4,265,700	3,676	6811815	Pagada	1,976	17,485
TOTAL	41,612,990	32,876			21,406	155,534
Consumo	2023			Estado	Asistentes únicos	Asistencia mensual
	Monto mes	Consumo mes m3	N° Factura			
Enero	9,381,150	5,642	6865597	Pagada	1,819	12,810
Febrero	11,540,400	6,394	6921243	Pagada	1,479	14,775
Marzo	10,748,620	5,954	6977903	Pagada	2,236	21,955
Abril	10,072,960	5,646	7032485	Pagada	1,996	17,227
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						
TOTAL	41,743,130	23,636			7,530	66,767

Tabla 0.2: Consumo mensual de agua en Club Providencia sector Jorge Matte Gormaz

Consumo	2022			Estado	Asistentes únicos	Asistencia mensual
	Monto mes	Consumo mes.m3	N° Factura			
Enero	2,570,510	1,900	6205479	Pagada	279	1,449
Febrero	3,498,010	2349	6259424	Pagada	941	4364
Marzo	3,165,480	2,096	6315557	Pagada	1,290	7,764
Abril	2,562,280	1,780	6368291	Pagada	1,255	7,408
Mayo	1,687,040	1,578	6428292	Pagada	1,216	7,776
Junio	1,743,950	1,623	6482034	Pagada	1,123	7,209
Julio	2,087,550	1942	6537360	Pagada	1160	6748
Agosto	1,960,880	1756	6593301	Pagada	1415	8584
Septiembre	1,782,290	1596	6647338	Pagada	1315	7587
Octubre	4,098,630	3532	6702334	Pagada	1534	8468
Noviembre	2,820,090	2430	6756357	Pagada	1566	9132
Diciembre	3,641,510	3138	6811880	Pagada	1745	10860
TOTAL	31,618,220	25,720			14,839	87,349
Consumo	2023			Estado	Asistentes únicos	Asistencia mensual
	Monto mes	Consumo mes.m3	N° Factura			
Enero	2,311,290	1,978	6866284	Pagada	1,659	10,478
Febrero	2,319,510	1,970	6919740	Pagada	1491	8726
Marzo	2,543,260	2,142	6976165	Pagada	1,769	11,622
Abril	2,447,110	2,601	7032419	Pagada	1,593	10,504
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						
TOTAL	9,621,170	8,691			6,512	41,330

B. Estimación de Caudales por Alternativa

Tabla 0.3: Caudales de aguas grises generados en Club Providencia utilizando la Alternativa A

Mes	N° Visitas	QL [l/mes]	QD [l/mes]	QP [l/mes]	Suma [m3/mes]
Enero	12.810	278.889	1.614.060	2.240.000	4.132,95
Febrero	14.775	318.877,5	1.861.650	2.240.000	4.420,53
Marzo	21.955	470.019,5	2.766.330	1.120.000	4.356,35
Abril	17.227	370.844,3	2.170.602	1.120.000	3.661,45
Mayo	20.782	445.503,8	2.618.532	1.120.000	4.184,04
Junio	18.628	400.125,2	2.347.128	1.120.000	3.867,25
Julio	17.081	368.152,9	2.152.206	1.120.000	3.640,36
Agosto	24.661	526.574,9	3.107.286	1.120.000	4.753,86
Septiembre	23.117	493.945,3	2.912.742	1.120.000	4.526,69
Octubre	26.458	564.132,2	3.333.708	1.120.000	5.017,84
Noviembre	28.358	603.482,2	3.573.108	1.120.000	5.296,59
Diciembre	28.345	603.570,5	3.571.470	2.240.000	6.415,04

Tabla 0.4: Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y consumo mensual medido (Alternativa A).

Mes	Caudal AG [m ³ /mes]	Caudal Medido Total [m ³ /mes]	%Diferencia
Enero	4.132,95	7.620	-45,76%
Febrero	4.420,53	8.364	-47,15%
Marzo	4.356,35	8.096	-46,19%
Abril	3.661,45	8.247	-55,60%
Mayo	4.184,04	3.697	13,17%
Junio	3.867,25	3.204	20,70%
Julio	3.640,36	3.506	3,83%
Agosto	4.753,86	3.790	25,43%
Septiembre	4.526,69	3.529	28,27%
Octubre	5.017,84	6.054	-17,12%
Noviembre	5.296,59	5.384	-1,62%
Diciembre	6.415,04	6.814	-5,85%

Tabla 0.5 Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y caudal aprox. de aguas grises (Alternativa A).

Mes	Caudal AG [m ³ /mes]	Caudal Aproximado [m ³ /mes]	%Diferencia
Enero	4.132,95	4572,0	-9,60%
Febrero	4.420,53	5018,4	-11,91%
Marzo	4.356,35	4857,6	-10,32%
Abril	3.661,45	4948,2	-26,00%
Mayo	4.184,04	2218,2	88,62%
Junio	3.867,25	1922,4	101,17%
Julio	3.640,36	2103,6	73,05%
Agosto	4.753,86	2274,0	109,05%
Septiembre	4.526,69	2117,4	113,79%
Octubre	5.017,84	3632,4	38,14%
Noviembre	5.296,59	3230,4	63,96%
Diciembre	6.415,04	4088,4	56,91%

Tabla 0.6: Caudales de aguas grises generados en Club Providencia utilizando la Alternativa B

Mes	N° Visitas	QT [l/mes]	QV [l/mes]	QP [l/mes]	Suma [m3/mes]
Enero	12.810	139.918,5	810.104,40	2.240.000	3.190,02
Febrero	14.775	126.378,0	934.371,00	2.240.000	3.300,75
Marzo	21.955	139.918,5	1.388.434,20	1.120.000	2.648,35
Abril	17.227	135.405,0	1.089.435,48	1.120.000	2.344,84
Mayo	20.782	139.918,5	1.314.253,68	1.120.000	2.574,17
Junio	18.628	135.405,0	1.178.034,72	1.120.000	2.433,44
Julio	17.081	139.918,5	1.080.202,44	1.120.000	2.340,12
Agosto	24.661	139.918,5	1.559.561,64	1.120.000	2.819,48
Septiembre	23.117	135.405,0	1.461.919,08	1.120.000	2.717,32
Octubre	26.458	139.918,5	1.673.203,92	1.120.000	2.933,12
Noviembre	28.358	135.405,0	1.793.359,92	1.120.000	3.048,76
Diciembre	28.345	139.918,5	1.792.537,80	2.240.000	4.172,46

Tabla 0.7: Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y consumo mensual medido (Alternativa B).

Mes	Caudal AG [m ³ /mes]	Caudal Medido Total [m ³ /mes]	%Diferencia
Enero	3.190,02	7.620	-58,14%
Febrero	3.300,75	8.364	-60,54%
Marzo	2.648,35	8.096	-67,29%
Abril	2.344,84	8.247	-71,57%
Mayo	2.574,17	3.697	-30,37%
Junio	2.433,44	3.204	-24,05%
Julio	2.340,12	3.506	-33,25%
Agosto	2.819,48	3.790	-25,61%
Septiembre	2.717,32	3.529	-23,00%
Octubre	2.933,12	6.054	-51,55%
Noviembre	3.048,76	5.384	-43,37%
Diciembre	4.172,46	6.814	-38,77%

Tabla 0.8: Diferencia entre cálculo de caudales de aguas grises y caudal aprox. de aguas grises (Alternativa B).

Mes	Caudal AG [m ³ /mes]	Caudal Aproximado [m ³ /mes]	%Diferencia
Enero	3.190,02	4572,0	-30,23%
Febrero	3.300,75	5018,4	-34,23%
Marzo	2.648,35	4857,6	-45,48%
Abril	2.344,84	4948,2	-52,61%
Mayo	2.574,17	2218,2	16,05%
Junio	2.433,44	1922,4	26,58%
Julio	2.340,12	2103,6	11,24%
Agosto	2.819,48	2274,0	23,99%
Septiembre	2.717,32	2117,4	28,33%
Octubre	2.933,12	3632,4	-19,25%
Noviembre	3.048,76	3230,4	-5,62%
Diciembre	4.172,46	4088,4	2,06%

C. Especificaciones para dosificación UV

MODELO		CAUDAL RECOMENDADO PARA 30MJ/CM ²	PRESIÓN OPERATIVA MÁXIMA EN BARES	CAUDAL MÁXIMO EN M ³ /H	LÁMPARA UV-C	LÁMPARA DE MARCA	DIÁMETRO DE ENTRADA/SALIDA (MM)	ALTURA DEL REACTOR EN CM ±	DISTANCIA ENTRE LA ENTRADA Y LA SALIDA EN CM ±	PESO EN KG ±
BE09422	Xpose	14	1	15	1 x 42 W	VGE	32-38-60	55	19	4,5
BP08752	UV-C Duplex 80 W	17	2,5	23	1 x 80 W	VGE - LightTech	1½"	100	77	5,5
BP08132	UV-C Duplex 140 W	23	2,5	23	1 x 140 W Amalgam	VGE - LightTech	1½"	100	77	5,6
BP07082	Buster UV-C 80 W	15	4	20	1 x 80 W	VGE - LightTech	2"	93	73,3	9,7
BP07132	Buster UV-C 140 W	23	4	28	1 x 140 W Amalgam	VGE - LightTech	2,5"	93	72	9,6
BP07392	Buster UV-C 420 W	49*	4	49	3 x 140 W Amalgam	VGE - LightTech	3"	93	70,4	22,4
BH12752	AOP Compact Ozone & UV-C 75 W 2.0	18	2,5	23	1 x 75 W / Ozone	VGE - LightTech	63	100	77	8,4
BP02752	Inox UV-C 75 W	18	5	23	1 x 75 W	Philips	2"	100	78,5	7,2
BP02132	Inox UV-C 130 W	22	5	23	1 x 130 W Amalgam	Philips	2"	100	78,5	7,3
BH01402	Timer UV-C 40 W	11	2	23	1 x 40 W	Philips	63	100	77	4,1
BH01752	Timer UV-C 75 W	16	2	23	1 x 75 W	Philips	63	100	77	4,3
BH01132	Timer UV-C 130 W	22	2	23	1 x 130 W Amalgam	Philips	63	100	77	4,5
BH10402	Saltwater Timer UV-C 40 W	9	2	23	1 x 40 W	Philips	63	100	77	4,0
BH10752	Saltwater Timer UV-C 75 W	14	2	23	1 x 75 W	Philips	63	100	77	4,2
BE06402	Signal UV-C 40 W	11	2	23	1 x 40 W	VGE - LightTech	63	100	77	4,1
BH11752	Signal UV-C 75 W	16	2	23	1 x 75 W	VGE - LightTech	63	100	77	4,3
BH11402	Signal UV-C 130 W	22	2	23	1 x 130 W Amalgam	VGE - LightTech	63	100	77	4,5
BH04402	Ionizador de cobre UV-C 40 W	11	2	23	1 x 40 W	Blue Lagoon - LightTech	63	100	77	5,0
BH04752	Ionizador de cobre UV-C 75 W	16	2	23	1 x 75 W	Blue Lagoon - LightTech	63	100	77	5,2
BE02162	Tech UV-C 16 W	5	2	23	1 x 16 W	VGE - LightTech	63	56	34	2,8
BE02402	Tech UV-C 40 W	11	2	23	1 x 40 W	VGE - LightTech	63	100	77	3,6
BE02752	Tech UV-C 75 W	16	2	23	1 x 75 W	VGE - LightTech	63	100	77	3,9
BE03132	Tech UV-C 130 W	22	2	23	1 x 130 W Amalgam	Philips	63	100	77	8,0
BE06402	Saltwater UV-C 40 W	9	2	23	1 x 40 W	Philips Smart Cap	63	100	77	3,0
BE06752	Saltwater UV-C 75 W	14	2	23	1 x 75 W	Philips Smart Cap	63	100	77	3,2
BE07402	Saltwater short UV-C 40 W	8	2	23	1 x 40 W	VGE - LightTech	63	48	37	2,5
BE21122	Tech Spa UV-C 12 W	3	2	23	1 x 12 W	Philips	63	42	24,5	2,5
BE21121	Tech Spa UV-C 15 W	3	2	23	1 x 15 W	Philips	63	42	24,5	2,5
BE01212	Spa UV-C 21 W - 230 V	3	1	13	1 x 21 W	VGE - LightTech	50	35	17	1,7
BE01211UL	Spa UV-C 21 W - 120 V	3	1	13	1 x 21 W	VGE - LightTech	50	35	17	1,7
BE01122	Spa UV-C 12 W	3	1	13	1 x 12 W	Philips	50	40,5	17	1,6
BE01151	Spa UV-C 15 W	4	1	13	1 x 15 W	Philips	50	40,5	17	1,6
BH07122	Spa Inox UV-C 12 W	3	2	13	1 x 12 W	Philips	3/4"	40,5	14,3	2,6
BH07151	Spa Inox UV-C 15 W	4	2	13	1 x 15 W	Philips	3/4"	40,5	14,3	2,6

Figura 0.1: Especificaciones modelos BlueLagoon