



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y  
MATERIALES

**DISEÑO DE SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES  
PARA RIEGO, EN EL CONTEXTO DE UNA COMUNIDAD INDÍGENA,  
SECTOR DE TOLTÉN.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

**NICOLÁS FELIPE MUÑOZ MUÑOZ**

PROFESOR GUÍA:  
FELIPE ANDRÉS DÍAZ ALVARADO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
MARÍA ELENA LIENQUEO CONTRERAS  
CECILIA HERNÁNDEZ LOYOLA

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por:  
Programa de Pueblos Indígenas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas,  
Universidad de Chile.

SANTIAGO DE CHILE  
2021

## **DISEÑO DE SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA RIEGO, EN EL CONTEXTO DE UNA COMUNIDAD INDÍGENA, SECTOR DE TOLTÉN.**

El Cambio Climático es un fenómeno global, atribuible directa o indirectamente a la acción humana, producido por los cambios que ha sufrido la atmósfera en su composición. Esto se expresa en aumentos de la temperatura media del planeta y alteraciones de los climas, haciendo más común la ocurrencia de fenómenos climáticos como sequías prolongadas y cambio en los regímenes pluviales. Esto es de gran relevancia para Chile, que es identificado como uno de los países con mayor riesgo ante los efectos del Cambio Climático.

El riesgo al que se está expuesto depende de una serie de factores que configuran escenarios de vulnerabilidad. En este sentido, las comunidades indígenas, y en particular la mapuche, se ven especialmente afectadas ante el Cambio Climático por sus efectos sobre territorios con los que mantienen relaciones ancestrales, los altos niveles de pobreza presentes, y la discriminación y violencia que sufren en su condición de indígenas. Esto configura un contexto de alta vulnerabilidad ante los peligros derivados del Cambio Climático, en particular aquellos que afectan la disponibilidad de agua y la posibilidad de desarrollar sus actividades productivas y de subsistencia ligadas a actividades agropecuarias de escala familiar.

Estos efectos han sido identificados por los miembros de la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla Newen Lafquen, quienes han observado la intensificación de los episodios de lluvia, a la vez que disminuye la cantidad de agua en los meses con menos precipitaciones, llegando a comprometer la disponibilidad para el consumo humano.

El presente trabajo comprende la recopilación de información para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises que permite la utilización de las aguas tratadas en el riego de un invernadero familiar de la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla. Los costos de implementación del sistema se estiman en \$772.400, mientras que los costos de operación son prácticamente nulos. De igual manera, la operación y mantención del sistema es de baja complejidad. Esto, sumado a la incorporación de elementos propios de la comunidad y del contexto global de Cambio Climático le imprimen atributos de pertinencia y pertenencia al proyecto, que buscan ser un aporte en el debate en torno a las políticas públicas en esta materia.

El sistema de tratamiento de aguas grises propuesto permite cumplir con los criterios de calidad en  $DBO_5$  (10 [mg/L]), sólidos suspendidos totales (10 [mg/L]), turbiedad (5 [UNT]) y CF(1000 [NMP/100mL]), a la vez que produce 71,5 [ $m^3/a$ ] de aguas gris tratadas, que permite cubrir la demanda estimada para el invernadero, equivalente a 50,4 [ $m^3/a$ ]. A este sistema se acopla un sistema de recolección de aguas lluvias que permite incorporar 45,2 [ $m^3/a$ ], por lo que también es posible que parte del agua tratada se emplee para el llenado de la cisterna del WC.

De esta manera el sistema queda compuesto por 5 estanques, 1 trampa de grasa de 60[L] y un humedal artificial de flujo subsuperficial (HSSF) de cerca de 5 metros de largo y 1,7 de ancho conectados entre sí.



# Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a la familia de la Sra. Ana, Herman y Walter, sin quienes no habría sido posible realizar este proyecto. Muchas gracias por el recibimiento y el cariño entregado durante el tiempo que pudimos compartir en la comunidad, así como la experiencia y la confianza de abrir las puertas de su hogar para el desarrollo de este proyecto de memoria.

Mis reconocimientos a todos quienes han promovido la circulación libre y pública del conocimiento en esta materia, permitiendo el mayor uso de las capacidades humanas para la resolución de problemas.

Agradecer de manera personal a mi familia, quienes me han acompañado durante todo este tiempo de búsqueda y desarrollo académico. Cualquier precisión que trate de hacer en esta materia terminara por dejar fuera una infinidad de cosas imposibles de detallar, pero sería aún más injusto no mencionar a quienes han sido parte integral de mi construcción como persona, y como tal, responsables también de los aspectos positivos de este trabajo.

Agradecer también a mis amigos Amanda Corona y Pablo Ugalde quienes de distintas maneras han sabido apoyarme, y con quienes espero seguir construyendo en el futuro. Agradecer también a mi amigo Oscar Urtubia, quien además fue un importante apoyo para el mejor desarrollo del proyecto en aquellos elementos relacionados con el análisis socioeconómico de la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla.

Reconocer el apoyo de mi profesor guía, Felipe Díaz, y su enorme contribución en el proceso reflexivo que acompaño este trabajo.

Por último, agradecemos el apoyo y financiamiento del Programa de Pueblos Indígenas, Dirección de Diversidad y Género, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes generales . . . . .	1
1.1.1. Contexto del recurso hídrico en Chile . . . . .	1
1.1.2. La desigualdad como factor de vulnerabilidad ante el Cambio Climático . . . . .	3
1.1.3. Elementos generales de las comunidades indígenas y mapuche . . . . .	4
1.1.4. Comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla Newen Lafquen . . . . .	5
1.1.5. Motivación y definición de proyecto . . . . .	9
1.1.6. Aguas grises y aguas lluvia . . . . .	11
1.1.7. Antecedentes legales . . . . .	13
1.1.7.1. Normativa Chilena . . . . .	13
1.1.7.2. Normativa Internacional . . . . .	15
1.1.8. Experiencias en tratamiento de aguas grises . . . . .	17
1.2. Objetivos y alcances . . . . .	20
1.2.1. Objetivo general . . . . .	20
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	21
1.2.3. Alcances . . . . .	21
1.2.4. Limitantes . . . . .	21
<b>2. Marco teórico</b>	<b>22</b>
2.1. Aguas grises y aguas lluvia . . . . .	22
2.1.1. Caracterización general de aguas grises . . . . .	22
2.1.2. Caracterización general de aguas lluvia . . . . .	23
2.1.3. Consideraciones sanitarias . . . . .	24
2.2. Tipos de tratamiento . . . . .	26
2.2.1. Aguas grises . . . . .	26
2.2.1.1. Tratamiento primario . . . . .	26
2.2.1.2. Tratamiento secundario . . . . .	27
2.2.1.3. Desinfección . . . . .	27
2.2.2. Aguas lluvia . . . . .	28
<b>3. Metodología</b>	<b>29</b>
3.1. Bases de diseño . . . . .	29
3.2. Metodología específica . . . . .	29
3.3. Toma de muestras . . . . .	30
<b>4. Resultados y discusiones</b>	<b>32</b>

4.1.	Caracterización del contexto socio económico . . . . .	32
4.2.	Caracterización de los flujos a tratar . . . . .	35
4.2.1.	Resultados de análisis de muestras . . . . .	35
4.2.2.	Cálculo de caudales de aguas grises . . . . .	37
4.2.3.	Cálculo de caudal de aguas lluvia . . . . .	37
4.3.	Requerimientos de agua para el riego del invernadero . . . . .	39
4.4.	Selección de equipos . . . . .	41
4.5.	Cálculo de volumen de equipos . . . . .	53
4.5.1.	Equipos . . . . .	53
4.5.2.	Estanques . . . . .	59
4.6.	Proyección de costos . . . . .	60
4.6.1.	CAPEX . . . . .	60
4.6.2.	Periodo de recuperación de la inversión (PRI) . . . . .	63
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>68</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>70</b>
<b>6.</b>	<b>Anexos</b>	<b>75</b>
6.1.	Datos CENSO 2017 comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla Newen Lafquen	75
6.2.	Requisitos de calidad NCh 1333 . . . . .	77
6.3.	Esquema de sistema “Gota a Gota” . . . . .	78
6.4.	Biofiltro Aeróbico CERES . . . . .	79
6.5.	Sistema de tratamiento de aguas grises, Universidad de Quindío . . . . .	79
6.6.	Sistema de tratamiento de aguas grises. Suecia. . . . .	80
6.7.	Sistemas de tratamiento de 2 y 4 barriles . . . . .	80
6.8.	Criterios EPA sobre calidad de agua para riego . . . . .	81
6.9.	Desglose de la producción de aguas grises . . . . .	81
6.10.	Fotografías de vistas de casa de La Familia . . . . .	82
6.11.	Procesos de transformación del nitrógeno en humedales artificiales . . . . .	84

# Índice de Tablas

1.1.	Flujo aproximado de aguas negras y grises generadas en base a una familia de 4 personas promedio.[13]	12
1.2.	Niveles máximos de indicadores de calidad del agua para uso urbanos según proyecto de reglamento de Ministerio de Salud, Chile.	15
1.3.	Niveles máximos de indicadores de calidad del agua según reglamento NSF/ANSI 350-1	16
1.4.	Niveles máximos de indicadores de calidad del agua según reglamento US EPA	16
1.5.	Niveles máximos de indicadores de calidad del agua según reglamento GWA.	17
2.1.	Resumen de mediciones de calidad de aguas lluvia en Palestina, Tanzania y Sídney. Experiencias urbanas y rurales.	24
2.2.	Resumen de principales químicos presentes en las aguas grises y sus efectos sobre plantas y suelos.	25
4.1.	Tipo de muro del hogar.	32
4.2.	Origen del agua para el uso doméstico.	33
4.3.	Trabajo realizado por el jefe o jefa de hogar.	33
4.4.	% de personas por nivel máximo de estudio y % de personas que termina cada nivel.	34
4.5.	Resultados de los análisis realizados en laboratorio de planta de tratamiento de riles, CCU.	35
4.6.	Resultados de los análisis realizados en laboratorio ANAM S.A. Análisis Ambientales.	36
4.7.	Parámetros para el cálculo del rendimiento anual de agua pluvial (LRA).	38
4.8.	Parámetros para el cálculo requerimiento de agua en cultivo de papas. [42]	39
4.9.	Resumen de selección de equipos: tratamiento primario.	42
4.10.	Resumen de selección de equipos: tratamiento secundario.	45
4.11.	Principales mecanismos de tratamiento de las aguas en un humedal artificial.	47
4.12.	Resumen de selección: humedal artificial.	48
4.13.	Corrientes y composiciones consideradas para el diseño de El Sistema.	51
4.14.	Parámetros para el dimensionamiento de la trampa de grasa.	53
4.15.	Dimensiones teóricas y reales de la trampa de grasas.	55
4.16.	Parámetros para el dimensionamiento del humedal(HSSF).	56
4.17.	Dimensiones teóricas de humedal artificial.	58
4.18.	Resumen de valor de volumen teórico de estanques y volumen de solución escogida.	60
4.19.	Costos de equipos.	60
4.20.	Costos directos e indirectos.	63
4.21.	Parámetros de la bomba.	64
4.22.	Es1: Aguas grises sin considerar ducha.	65

4.23.	Es2: Totalidad de aguas grises. . . . .	65
4.24.	Es3: Aguas grises sin considerar ducha + Aguas lluvia. . . . .	66
4.25.	Es3: Totalidad de aguas grises + Aguas lluvia. . . . .	66
6.1.	Desglose de la producción de aguas grises y aguas negras para una familia de 3 personas y 4. . . . .	81

# Índice de Ilustraciones

1.1.	Mapas de estrés y disponibilidad del recurso hídrico[2]	1
1.2.	Proyección de la variación en las precipitaciones en Chile a 30 y 50 años.[4]	2
1.3.	Definición de conceptos asociados al riesgo.[3]	3
1.4.	Ubicación de comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla.	6
1.5.	Humedal comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla.	8
1.6.	Fotografías comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla correspondiente a meses lluviosos.	8
1.7.	Fotografías comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla correspondiente a meses secos.	9
1.8.	Conceptos que justifican la utilidad del Proyecto	10
3.1.	Zona de descarga de lavaplatos. Encerrado en rojo zona en que cañería descarga los efluentes.	30
3.2.	Equipo DR-900, junto a las muestras analizadas.	31
4.1.	Área aproximada en que se emplazara el invernadero de La Familia.	39
4.2.	Resumen de procesos de El Sistema.	41
4.3.	Diseño general de trampa de grasa.[44]	43
4.4.	Clasificación de humedales artificiales .[46]	46
4.5.	Diseño de humedal artificial tipo HSSF: Entrada al equipo.[23]	50
4.6.	Diseño de humedal artificial tipo HSSF: Vista lateral.[48]	50
4.7.	Ejemplo de Ionizador	51
4.8.	Diagrama de flujos de El Sistema.	52
4.9.	Rectángulo inscrito en circunferencia de diámetro igual a diámetro de barril seleccionado como trampa de grasa.	55
4.10.	Barril de 60[L] para ser utilizado como trampa de grasa.	56
6.1.	Región: nombre de región; Provincia: nombre de provincia; Zona o localidad: número que identifica el sector específico; ID_Vivienda: número que identifica a la vivienda dentro de una zona o localidad determinada; Tipo_vivienda: tipo de vivienda; Ocupación vivienda: estado de ocupación de la vivienda; Muros: Identifica el tipo de muro de la vivienda.	75
6.2.	Techo: tipo de techo de la vivienda; Piso: tipo de piso de la vivienda; Piezas: número de piezas de la vivienda; Origen del agua: fuente de origen del agua para el uso doméstico; Cant_per: número de personas que viven en la vivienda; Tip_hogar: Tipo de conformación familiar de la vivienda; Parentesco: rol de quien responde la encuesta; Sexo: Sexo de quien responde la encuesta; Edad: edad de quien responde la encuesta.	75

6.3.	Asiste a educación: si/no accede a institución de educación; Curso más alto aprobado: curso más alto aprobado por quien responde la encuesta; Educ_nivel: Nivel de educación alcanzado por quien responde la encuesta; Termino nivel: si/no termino último nivel de educación iniciado; Pueblo indígena: si/no pertenece a un pueblo indígena; Pueblo_etnia: nombre de pueblo o etnia a la que pertenece quien responde la encuesta; Trabajo semana pasada: trabajo realizado por quien responde la encuesta durante la última semana. . . . .	76
6.4.	Rama actividad económica: rama de actividad económica desarrollada por quien responde la encuesta; Hijos: número de hijos de quien responde la encuesta. . . . .	76
6.5.	Estándares químicos de calidad de agua para riego.[21] . . . . .	77
6.6.	Estándares para conductividad específica y sólidos disueltos totales en Aguas de Regadío.[21] . . . . .	78
6.7.	Esquema de sistema de tratamiento de aguas grises provenientes de la lavadora. . . . .	78
6.8.	Esquema de sistema de Australia. Biofiltro Aeróbico CERES.[25] . . . . .	79
6.9.	Esquema de sistema de tratamiento de aguas grises, Universidad de Quindío. Colombia.[25] . . . . .	79
6.10.	Esquema de sistema “Wetpark” Parque Húmedo. Kalmar.[25] . . . . .	80
6.11.	Esquema de sistema de tratamiento de 2 barriles. . . . .	80
6.12.	Esquema de sistema de tratamiento de 4 barriles. . . . .	80
6.13.	Criterios de evaluación de la calidad del agua para riego. EPA,2012. . . . .	81
6.14.	Vista frontal de la casa de La Familia. . . . .	82
6.15.	Vista parcial del techo, desde la parte posterior de la casa de La Familia. . . . .	82
6.16.	Vista lateral derecha de la casa de La Familia. . . . .	83
6.17.	Vista lateral izquierda de la casa de La Familia. . . . .	83
6.18.	Procesos de transformación y eliminación del nitrógeno en un humedal artificial. [45] . . . . .	84

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes generales

#### 1.1.1. Contexto del recurso hídrico en Chile

Desde el año 2010 Chile ha experimentado la mayor sequía del último siglo lo que, acompañado de una deficiente gestión del recurso hídrico, lo ha posicionado entre los países con mayor riesgo de sufrir estrés hídrico en Latinoamérica, como se puede ver en la Figura 1.1.a, donde los colores más oscuros expresan mayor competencia entre los consumidores de agua. [1] El **estrés hídrico** se puede entender como la proporción que existe entre la demanda de agua para uso doméstico, industrial, regadíos y ganaderos consuntivos y no consuntivos; y la disponibilidad de suministros renovables de agua, que considera los efectos que tienen los usos consuntivos ocurridos río arriba y la presencia de presas en la disponibilidad de agua río abajo.[2]

Por otro lado se puede ver en la Figura 1.1.b que la **variación anual de recurso hídrico disponible** tanto en fuentes superficiales como subsuperficiales, es significativa en gran parte del territorio de Chile, siendo media en las zonas centro-sur y sur, y altas o extremadamente altas en las zonas centro norte y norte.[2]

En cuanto a la gestión del recurso hídrico, esta es realizada por la Dirección General de Aguas (DGA), dependiente del Ministerio de Obras Públicas de Chile, a través de su control sobre el mercado de “Derechos de Aprovechamientos de Aguas”, los cuales son inicialmente entregados por el Estado de Chile prácticamente a perpetuidad para su uso privado, siendo susceptibles de ser transados como un bien de mercado. Tal situación se suma a mecanis-

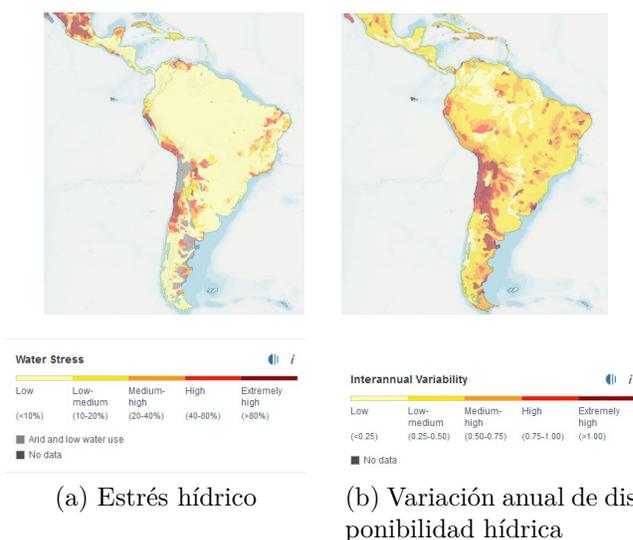
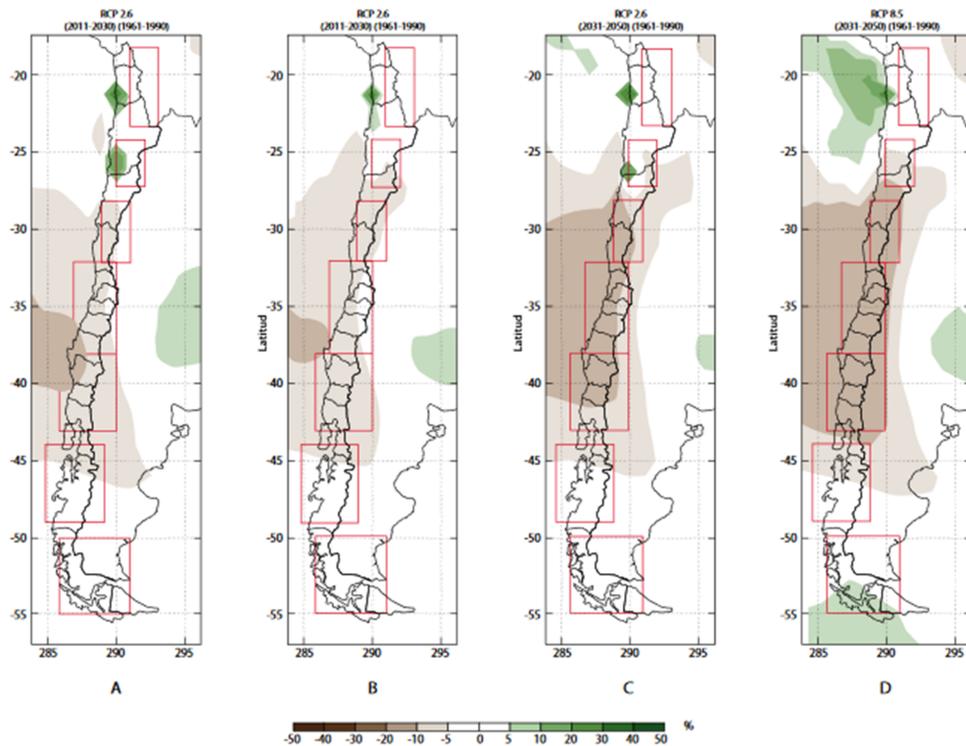


Figura 1.1: Mapas de estrés y disponibilidad del recurso hídrico[2]

mos de regulación y supervisión públicos limitados, lo que aumenta los niveles de desigualdad en el acceso a este importante recurso.[1]

De acuerdo con el 5° reporte del IPCC (Panel Intergubernamental por el Cambio Climático, por sus siglas en inglés) (AR5), en su segundo volumen, que trata sobre impactos, adaptación y vulnerabilidad, la zona centro sur de Chile experimenta una tendencia a la baja en sus precipitaciones de 1mm [día-1 (50 años)-1] entre 1950 y el año 2008, lo que ha generado, a su vez, una disminución de los flujos de agua superficial en las cuencas del país. Estos datos advierten sobre el peligro de cortes en el suministro de agua en la medida en que se mantenga esta tendencia [3], que es lo que se puede observar en la Figura 1.2 donde se refleja cómo el sector centro sur de Chile se vería afectado por la disminución en las precipitaciones, considerando tanto el escenario más auspicioso en términos de emanaciones de gases de efecto invernadero (GEI) (RCP 2.6), como el menos auspicioso (RCP 8.5).



Mapas de cambio porcentual de precipitación para el periodo 1961-1990 para escenarios:  
A: RCP2.6 periodo 2011-2030  
B: RCP8.5 periodo 2011-2030  
C: RCP2.6 periodo 2031-2050  
D: RCP8.5 periodo 2031-2050

Figura 1.2: Proyección de la variación en las precipitaciones en Chile a 30 y 50 años.[4]

Para enfrentar esta situación el Estado de Chile, a través del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) desarrolló por recomendación del IPCC y la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático que busca ser el instrumento articulador de la política pública en esta materia, en reconocimiento de que Chile es un país “social, económica y ambientalmente vulnerable al Cambio Climático” y que “ los costos de la inacción pueden ser mucho mayores que las

medidas e inversiones necesarias, en corto plazo, para adaptarse (actividades realizadas por individuos o sistemas, para evitar, resistir o aprovechar los cambios y los efectos del clima, actuales o previstos) y mitigar (disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero y/o incrementar la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera mediante sumideros) los impactos negativos de la misma”.[4]

### 1.1.2. La desigualdad como factor de vulnerabilidad ante el Cambio Climático

En cuanto a las distintas acciones que se siguen para enfrentar las consecuencias del Cambio Climático se tienen aquellas que favorecen la **adaptabilidad** de las comunidades, la cual está definida en el AR5 como un “proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos (...) la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas”. En este sentido las estrategias de adaptabilidad permiten anteponerse a los posibles impactos que puede generar el Cambio Climático, aumentando así la resiliencia de las comunidades, que se define en los capítulos del AR5 como la “capacidad de un sistema social, ecológico o socioecológico y sus componentes para anticipar, reducir, adaptarse o recuperarse de los efectos de un evento o tendencia peligrosa de manera oportuna y eficiente”. [5]

Por otro lado están las acciones de **mitigación** que son aquellas intervención humanas cuyo fin son reducir la fuente o aumentar la captura de aquello que produce la situación de riesgo.

Este mismo documento define el nivel de **riesgo** al que está expuesta una comunidad determinada en base a 3 conceptos, que corresponden al peligro, la vulnerabilidad y la exposición, como se ve en la Figura 1.3.[3]

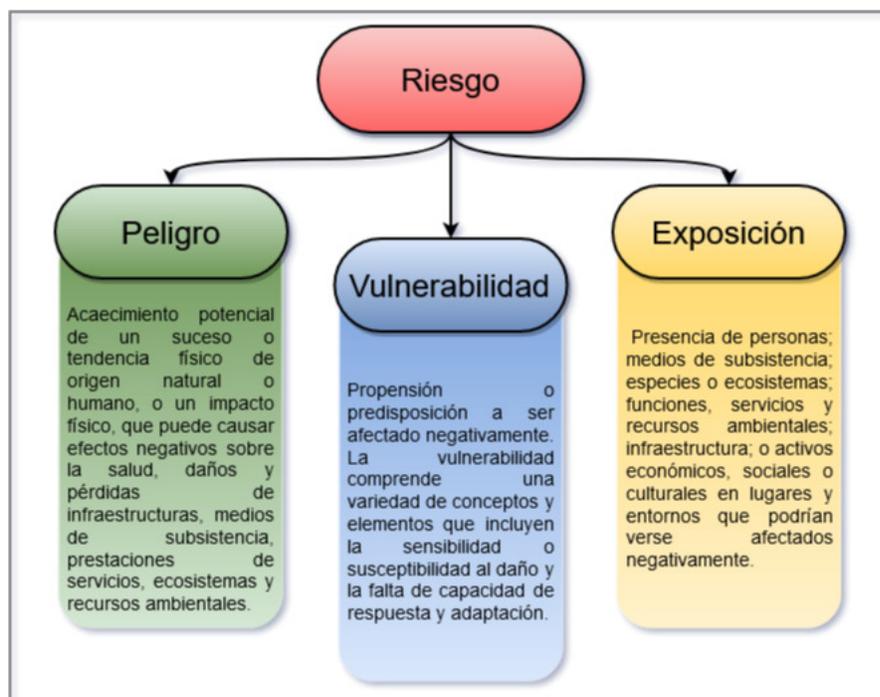


Figura 1.3: Definición de conceptos asociados al riesgo.[3]

Las definiciones antes planteadas invitan a reflexionar sobre cómo estos conceptos se conjugan en distintos contextos. En particular, los sectores más empobrecidos de la sociedad se encuentran en mayor **vulnerabilidad** y **exposición** ante los **peligros** que puede traer el Cambio Climático. Esto debido al hecho evidente de que estos sectores cuentan con menos recursos para enfrentar o adaptarse a los efectos directos del Cambio Climático sobre los medios de subsistencia, los rendimientos de los cultivos y la destrucción de hogares, y a los efectos indirectos expresados a través de sus impactos en los procesos socioeconómicos que repercuten en que, por ejemplo, se encarezcan los alimentos o que su acceso sea más difícil. Además, según las proyecciones del IPCC, los impactos del cambio climático ralentizan el crecimiento económico, haciendo más difícil la reducción de la pobreza.[6]

Debido a distintos factores de discriminación y a las dispares posibilidades de acceso a ingresos suficientes para el desarrollo de la vida, educación, salud y vivienda, es posible identificar grupos especialmente vulnerables ante los peligros derivados del Cambio Climático como son los sectores con mayores índices de pobreza, las comunidades indígenas, las mujeres, los inmigrantes, entre otras categorías que, además, suelen sobreponerse (por ejemplo, se puede decir que una comunidad indígena con altos niveles de pobreza es una comunidad “doblemente vulnerable”).

### 1.1.3. Elementos generales de las comunidades indígenas y mapuche

Las comunidades indígenas corresponden a grupos humanos que comparten vínculos ancestrales con la tierra y los recursos naturales del lugar que habitan. Representan cerca del 6% de la población mundial, sin embargo constituyen el 15% de la población en condición de extrema pobreza, según información del Banco Mundial. Esto se suma a que es recurrente que las comunidades indígenas carezcan de reconocimiento formal de sus tierras y sean discriminadas de distintas maneras por parte de los Estados (dificultades para incorporarse a los mercados, acceder a la justicia o ser beneficiarias de la inversión pública), que repercute en niveles de inequidad y exclusión que las vuelven especialmente vulnerables.[7]

Como consecuencia de la relación ancestral que mantienen las comunidades indígenas con su entorno natural, sus formas de vida y medios de subsistencia se encuentran profundamente vinculados con este, por lo que el Cambio Climático afecta de manera directa a las comunidades indígenas, generando mayores niveles de desigualdad desde el punto de vista socioeconómico y sociopolítico, lo que puede desencadenar en afectaciones del ejercicio de los derechos humanos de los integrantes de estas comunidades.[8]

En Chile también es interesante analizar la situación de los pueblos originarios, en particular el mapuche que representa el 84% de la población indígena del país. Aunque a nivel nacional la mayor cantidad de personas mapuche se encuentran en la Región Metropolitana, en términos proporcionales es la región de La Araucanía la que posee la mayor concentración de población mapuche. [9]

Como se mencionaba anteriormente en relación con el contexto mundial de las comunidades indígenas, el pueblo mapuche también ha sido sistemáticamente violentado y excluido del desarrollo político del país, así como despojado de sus tierras, lo que es un elemento central dentro de una economía fuertemente ligada a la agricultura y ganadería, y que actualmente enfrenta los problemas cada vez más importantes de falta de agua tanto para sus cultivos y ganado, como para el consumo humano.

Esta relación de despojo de las tierras de las comunidades mapuche cuenta con anteceden-

tes como la formación de la Comisión Radicadora de Indígenas en 1883, que, por medio de la sesión de títulos de merced buscaba restringir a las comunidades a determinadas zonas, para facilitar la colonización del resto del territorio. Luego, en 1930 la Comisión Radicadora fue remplazada por los Juzgados de Indios, que consistían en tribunales encargados de dividir las comunidades indígenas, lo que se tradujo en la casi total desintegración del pueblo mapuche, al dividir las comunidades en numerosas propiedades pequeñas. Posteriormente las reformas agrarias de 1962 y 1967 implicaron mejoras poco significativas para el pueblo mapuche ya que los beneficiaron en tanto campesinos empobrecidos, obviando el factor étnico e histórico.[10]

Es probable que los primeros avances significativos que se dieron en este sentido ocurrieran durante el gobierno de Salvador Allende quien, haciendo uso de la reforma agraria de 1967, restituyó territorios al pueblo mapuche mediante la expropiación. A esto se sumó la ley indígena 17729 que, entre otras cosas, pretendía garantizar la tenencia de las tierras mapuche al declararlas inembargables, decretar la prohibición de venderlas a personas que no fueran indígenas, empresas estatales o cooperativas y declarándolas “indivisas”. [10] Este proceso se vio violentamente interrumpido por la dictadura de Augusto Pinochet, quien ejerció una dura represión sobre el pueblo mapuche y retrocedió en la restitución territorial.

Desde el retorno a los gobiernos civiles en 1990, el Estado se ha relacionado con el pueblo mapuche a través de planes de desarrollo local, donaciones, subsidios y recursos en general, pero obviando demandas centrales como la restitución de territorios, lo que ha derivado en un conflicto político que se extiende hasta el presente. Además, el Estado ha permitido y fomentado que los territorios mapuche sean utilizados para actividades extractivas que las desgastan, afectando así la pequeña agricultura llevada a cabo por los miembros de las comunidades.[10]

Este desarrollo histórico que ha sido sucintamente tratado en los párrafos anteriores termina configurando un mundo indígena con altas tasas de pobreza. De acuerdo con la encuesta CASEN del año 2017, la pobreza medida en función del ingreso alcanza a un 14,5% de la población indígena frente a un 8% de aquellos que no pertenecen a ningún pueblo indígena. Este porcentaje aumenta a un 30,2% (frente a un 19,7% de la población que no pertenece a ningún pueblo indígena) si es que se mide la pobreza de manera multidimensional, es decir incorporando al factor del ingreso carencias en las dimensiones de educación, salud, trabajo, vivienda, seguridad social y nivel de vida en general.[6] Si se considera la población mapuche del año 2017 (1.437.308 personas)[9], cerca de 450.000 personas se encontrarían en condición de pobreza multidimensional, 208.000 en condición de pobreza por ingresos y aproximadamente 57.000 en condición de extrema pobreza.

Esta misma fuente indica que cerca de 370.000 personas indígenas se encuentran en condición de pobreza o pobreza extrema habitando en sectores rurales.[9]

#### **1.1.4. Comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla Newen Lafquen**

La comunidad mapuche Juan de la Cruz Pinchumilla Newen Lafquen (de ahora en más La Comunidad), se encuentra aproximadamente a 9 kilómetros de Nueva Tolstén, región de La Araucanía, en el área marcada en la Figura 1.4. El lonco (presidente) de La Comunidad es don Modesto Huenchucoy, quien representa a los 39 socios y socias, dentro de las que se encuentran la familia Anquileo (de ahora en más La Familia), con quienes se diseña e implementará el sistema propuesto en este trabajo de memoria, el cual se acoplará a un proyecto paralelo de construcción de un invernadero de  $3[m] \times 4[m]$  de superficie.



Figura 1.4: Ubicación de comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla.

Esta comunidad proviene de una comunidad más grande, que incluía a cerca de 80 socios, la cual se dividió por razones asociadas a la búsqueda de mejores posibilidades para acceder a fondos y aportes estatales.

De acuerdo con información recabada a través de entrevistas personales y conversaciones telefónicas con miembros de La Comunidad se ha identificado que existe entre los comuneros una sensación de “atraso”, tanto económico como educacional, así como de “abandono” por parte del Estado. Esta información se refuerza con datos del CENSO del año 2017 que indican que, considerando la información de las 81 familias que se registran como parte de la comunidad original (previo a dividirse en dos), un 74 % cuenta con muros de tabique forrado o madera, versus un 3,7 % que cuenta con muros de albañilería u hormigón armado. Por otro lado, en cuanto al acceso al agua, se tiene que un 84 % lo hace a través de pozo o noria, mientras que solo un 3 % lo hace a través de la red pública, aunque este porcentaje debiese aumentar ya que se han instalado medidores en algunas de las casas de La Comunidad para realizar en el futuro próximo las conexiones a la red de agua potable. En cuanto al nivel educacional se observa que el 69 % de los jefes de hogar alcanzó estudios de enseñanza básica o primaria (antigua), de los cuales solo el 21 % terminó el nivel, mientras que el 8 % de los jefes de hogar nunca asistió al colegio. El detalle de la información analizada se encuentra en el capítulo Resultados.

Entre las actividades económicas desarrolladas por los comuneros se encuentra la agricultura familiar campesina y la crianza de animales, las cuales se caracterizan por el bajo nivel tecnológico utilizado y bajos niveles de producción. A través de estas actividades se logra cubrir un porcentaje significativo de los alimentos requeridos por el grupo familiar. Por otro lado, se reciben aportes estatales para el desarrollo de estas actividades, los cuales no están exentos de críticas por parte de los miembros de La Comunidad, quienes señalan que existen problemas como son el desfase que existe entre la entrega de los recursos y la época de siembra o la demora de los aportes comprometidos para la construcción de obras como invernaderos o “chacras” para cerdos.

Durante la visita a terreno realizada en el mes de noviembre del año 2020 se pudo observar la relación profunda que existe entre los miembros de La Comunidad y su entorno natural. Esto define desde la forma en que producen (agronomía y ganadería de baja escala) hasta aspectos culturales como la idea de una relación armoniosa con el entorno. Esto último

fue particularmente evidente en 3 aspectos que resultan relevantes para los objetivos de la memoria:

- Obtención de alimentos.

Pese a que muchos comuneros tienen vehículo particular que les permite llegar en un tiempo cercano a los 20 minutos a Nueva Toltén, que posee supermercados y otras tiendas de abarrotes, la mayor cantidad de alimentos son producidos por las mismas familias en sus huertos o a través de la cría de animales.

Por otro lado, existe un mercado al interior de La Comunidad en que se comercializan los productos que genera cada comunero. Esto se vuelve más evidente en el caso de la venta de carne de los animales que son faenados y comercializados dentro de la misma La Comunidad. Incluso en casos en que una familia necesita dinero y vende uno o más animales, estos suelen venderse entre comuneros.

- Concepción sobre la producción.

Pese a que muchos comuneros tienen gran cantidad de terreno, estos mantienen sus actividades productivas en escalas relativamente bajas: niveles que permiten, en general, sostener sus propias necesidades y un mercado compartido principalmente por un grupo de menos de 100 familias.

En base a lo conversado con La Familia se observa que hay dos elementos que confluyen en este aspecto. Por un lado, imposibilidades materiales que impiden que se desarrollen actividades productivas de mayor valor. En esto influye fuertemente el contexto general de pobreza, las distintas fallas e incapacidades del estado a la hora de entregar los recursos comprometidos, y al mayor costo que implica de por sí el tener cultivos y actividades ligadas a la agronomía de mediana y gran escala.

Por otro lado, se observa que existe una mirada sobre la producción y la actividad económica que centra su atención en la satisfacción de necesidades y no en el rendimiento productivo de los recursos con los que se cuenta. Esto es expresado por la jefa de hogar de La Familia (Sra. Ana) en diversas conversaciones en que mostraba desconcierto por la “vida de las ciudades” y el “trabajo formal”, a la vez que valoraba la forma más calma y armoniosa en que ella desarrolla su trabajo en el hogar, el cual incluye el cuidado de animales y del huerto familiar, la realización de las labores domésticas y el cuidado de un adulto mayor con problemas de desplazamiento.

- Manejo de desechos.

Debido a que La Comunidad se encuentra relativamente aislada de los centros urbanos, el manejo de desechos es muy importante ya que no existen servicios como el retiro de basura desde los domicilios o conexión a las redes de alcantarillado.

En el caso particular de la falta de alcantarillado, esto es suplido con pozos sépticos en que se acumulan las aguas negras y con la disposición directa de las aguas sobre el suelo al exterior de la casa.

Los desechos orgánicos (a excepción de aquellos presentes en las aguas negras) son acumulados y utilizados principalmente para alimentar a los animales. Incluso el agua del lavaplatos es descargada por una cañería hacia el exterior de la casa en un punto en que diversos animales se acercan al momento de las descargas de este equipo para alimentarse de los restos de comida que puedan estar presentes.

Como se mencionó anteriormente, los productos que son comprados en mercados fuera de La Comunidad son reducidos. Esto genera también bajos niveles de basura relacionada con envases de productos. No obstante, la basura que se genera es, en gran parte, quemada en las cocinas a leña que pueden mantener casi ininterrumpidamente encendidas, ya que cumplen tanto la función de cocina como de calefactor para los hogares.

En cuanto a la geografía del lugar es posible identificar un humedal dentro de La Comunidad (Figura 1.5) y la presencia de los ríos Bol-do y Toltén, que surten de agua al sector. Los caudales de estos, así como el nivel de agua del humedal están fuertemente determinados por el nivel de lluvias en invierno y el derretimiento de nieve durante los meses de verano. Sobre esto, integrantes de La Comunidad han expresado que durante los meses de mayor lluvia (mayo a septiembre) existe un exceso de este recurso, llegando incluso a haber inundaciones que alcanzan las cercanías de las casas, mientras que durante los meses con menos precipitaciones (octubre a abril), el agua no es suficiente para mantener los cultivos e incluso se han registrado casos de familias que han tenido dificultades para extraer agua de los pozos para el uso doméstico. Esto se ha podido corroborar a través de fotografías como las expuestas en la Figura 1.6, donde se muestra La Comunidad durante el periodo de lluvias, y la Figura 1.7, en que se muestra La Comunidad durante los meses más secos.



Figura 1.5: Humedal comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla.



Figura 1.6: Fotografías comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla correspondiente a meses lluviosos.

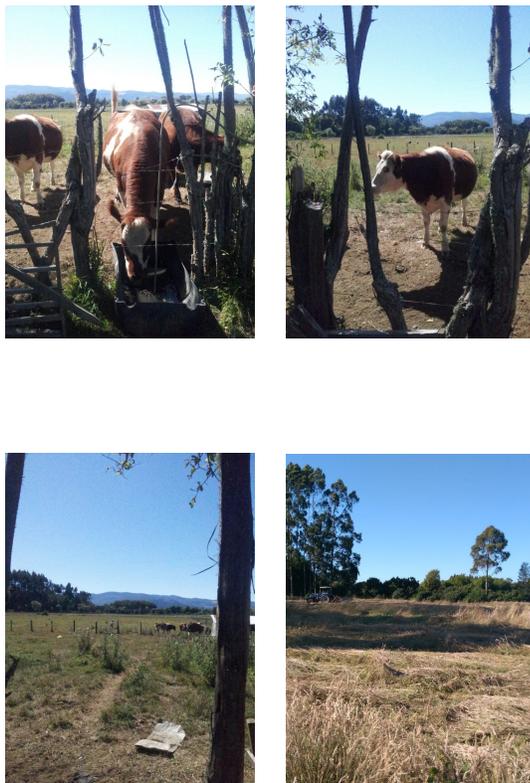


Figura 1.7: Fotografías comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla correspondiente a meses secos.

### 1.1.5. Motivación y definición de proyecto

Como elemento fundamental del presente trabajo se encuentra el realizar algo que pueda ser considerado útil. Para esto se establecen tres pilares que dan contenido a este concepto.

- Que la solución tenga una **perspectiva de política pública**, en el sentido de estar orientada hacia la acción por el “bien común” y que, a su vez, apueste a perdurar y ser sostenible en el tiempo, abordando la complejidad del desarrollo de iniciativas en el contexto en que en que se inserta.
- Que la solución al problema planteado esté fuertemente guiada por la **perspectiva que la misma comunidad** tiene del problema y las posibles soluciones, promoviendo la perspectiva compleja que tienen quienes efectivamente se ven afectados por una determinada situación.
- Que la solución sea un aporte en términos de la **autonomía** que tiene La Comunidad para desarrollarse y enfrentar el contexto actual de vulnerabilidad y Cambio Climático.

En base a los elementos sociales, políticos y ambientales configurados a través de la historia que han sido sintéticamente expuestos en los títulos anteriores, se dota de contenido estos 3 pilares antes mencionados, con el fin de identificar en términos concretos y específicos la utilidad real del proyecto.

Estos elementos configuran un escenario de gran complejidad, en el sentido de incorporar una gran cantidad de actores y variables que se interrelacionan de manera no necesariamente

lineal entre sí. Para enfrentar este contexto es útil la **perspectiva de las políticas públicas**, caracterizada por la búsqueda de aquello que “pueda ser valioso desde el punto de vista de la ciudadanía”, en un contexto inherentemente complejo[11]. Desde esta perspectiva, toman gran relevancia el conocimiento, experiencia y valoración que puedan tener aquellos que habitan el espacio en que se implementa un proyecto relacionado con el Cambio Climático.[12]

Es por esto que el trabajo aquí expuesto busca, en primer lugar, recoger el análisis que **los mismos habitantes** tienen sobre el cómo desarrollan su vida, las distintas dificultades que deben enfrentar y las oportunidades que vislumbran, para idear en conjunto las formas en que se pueden abordar, de manera que estas se conciban desde el mismo contexto cultural en que se llevará a cabo.

Por último, se considera que el proyecto es útil en la medida que logra aumentar los grados de resiliencia frente al Cambio Climático por parte de las comunidades indígenas. En este sentido, se evidencia una fuerte relación entre la forma de vida de La Comunidad y el agua de la que disponen, reflejada en el rol que este recurso tiene en las actividades económi-

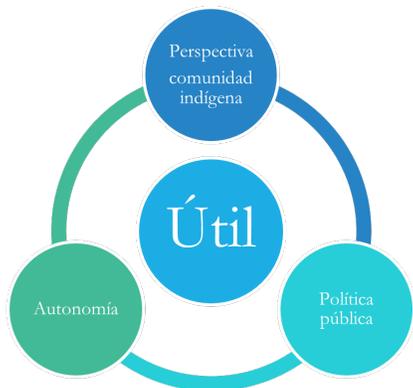


Figura 1.8: Conceptos que justifican la utilidad del Proyecto

cas de La Comunidad y en el cómo define el entorno a través de los ríos Boldo y Toltén, el humedal y la cercanía con la costa. Esta relación evidentemente se ve tensionada en el actual contexto de disminución de las lluvias, ya que se pone en riesgo no solo el abastecimiento de agua para el consumo humano, sino que directamente las actividades productivas que dan sustento a estas comunidades. En este sentido se razona que, en la medida que se aumenten los grados de **autonomía** por parte de La Comunidad a la hora de poder acceder a recursos y servicios (en particular agua para el riego de sus cultivos) de manera autogestionada, estos podrán resistir de mejor manera los efectos directos e indirectos del Cambio Climático.

Este desarrollo resultó en la identificación de una problemática muy sentida por La Comunidad, que guarda relación con las dificultades que esta tiene para poder acceder a agua para riego durante gran parte del año (entre octubre y abril aproximadamente) debido a la disminución de las precipitaciones. Esto contrasta con la gran disponibilidad de agua entre los meses de mayo y septiembre, producto de intensas lluvias y consiguientes crecidas de los ríos Boldo y Toltén, lo que inclusive produce la inundación de zonas cercanas a las viviendas de los comuneros.

Esto representa, además de un problema que afecta actualmente a las familias de La Comunidad, un gran riesgo para su estilo de vida si se consideran las proyecciones de temperaturas (al alza) y precipitaciones (a la baja) de la zona debido al Cambio Climático, ya que son familias que sostienen gran parte de su subsistencia en base a la agronomía familiar campesina y ganadería de baja escala, las cuales son actividades que dependen fuertemente de la disponibilidad de agua tanto para el riego de los huertos como el de los terrenos que servirán para el pastoreo de los animales. Por ejemplo, el ganado de los comuneros bebe agua directamente del humedal presente en La Comunidad, por lo que dependen fuertemente de esta fuente de agua para el desarrollo de la actividad pecuaria.

Para hacer frente a este escenario se desarrolla en la presente memoria un sistema de tra-

tamiento de aguas grises (aguas domésticas sin presencia de excretas) acoplado a un sistema de recuperación de aguas lluvia (de ahora en más El Sistema), que permitan regar las plantas presentes en un invernadero, pudiendo también usarse el exceso de agua para el llenado de estanques de baños. De esta manera se estará reduciendo el gasto de agua potable a la vez que aumenta el nivel de resiliencia ante el Cambio Climático que tendrá estas comunidades, en términos de su seguridad alimentaria (acceso a alimentos con suficiencia y de calidad) y mejor aprovechamiento del recurso hídrico disponible. Además, mediante la implementación de este proyecto se estará reduciendo la carga sobre el pozo que recibe actualmente las aguas negras.

En definitiva, la importancia del proyecto no radica solo en la solución práctica de un sistema de tratamiento de aguas grises para el riego de un invernadero, sino que también en la forma de concebir y gestionar un proyecto orientado hacia la aportación de valor desde el punto de vista de los miembros de La Comunidad.

### 1.1.6. Aguas grises y aguas lluvia

La nomenclatura utilizada en torno a las aguas grises se basa en las definiciones establecidas por la Ley 21075 que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises. En este sentido se presentan las siguientes definiciones:

- Aguas grises: aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.
- Aguas grises tratadas: aquellas que se han sometido a los procesos de tratamiento requeridos para el uso previsto.
- Aguas negras: aguas residuales que contienen excretas.
- Aguas servidas domésticas: aguas residuales que contienen los desechos de una edificación, compuestas por aguas grises y aguas negras.
- Reutilización de aguas grises: la aplicación de aquellas, una vez que se han sometido al tratamiento exigido para el uso autorizado.
- Instalación domiciliaria de alcantarillado de aguas grises: obras necesarias para evacuar las aguas grises de un inmueble, desde las tinas de baño, duchas, lavaderos y lavatorios y otros, hasta la planta domiciliaria de tratamiento de aguas grises o hasta la última cámara del sistema de recolección domiciliaria de aguas grises, según corresponda.
- Aguas lluvia: son aquellas aguas posibles de recolectar durante las precipitaciones.
- El Sistema: se entenderá como El Sistema al conjunto de la planta de tratamiento de aguas grises, el sistema de recolección de aguas lluvia y las líneas que permiten su transporte hacia donde serán reutilizadas.

Aunque las aguas grises no contienen altas concentraciones de excretas, sí pueden contener cantidades significativas de nutrientes, materia orgánica y bacterias aparte de residuos de cocina, jabones y detergentes y bacterias, además de constituir la mayor parte del volumen de aguas servidas domésticas.

Las aguas grises pueden representar el 60% del volumen total de agua consumida en un hogar, aunque esto dependerá de distintos factores como la tecnología con que se cuente en

los equipos que utilizan agua, el número de personas que viven en el hogar, entre otros.[13]  
Un resumen de los consumos aproximados por equipo se puede ver en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Flujo aproximado de aguas negras y grises generadas en base a una familia de 4 personas promedio.[13]

Fuente de agua residual	Total de aguas residuales		Total de aguas grises	
	%	[l/día]	%	[l/día]
Excusado	32	186	-	-
Lavamanos	5	28	7	28
Tina / Ducha	33	193	48	193
Cocina	7	44	11	44
Lavadero	23	135	34	135
Total	100	586	100	400

En cuanto a la caracterización de las aguas grises es posible encontrar con experiencias muy variadas dependiendo de la fuente de la que provenga la muestra, o de aspectos socio-económicos como el nivel de ingresos.

En términos de generales se puede mencionar que:

- Los parámetros más importantes de controlar son sólidos suspendidos totales (SST), la demanda biológica y química de oxígeno ( $DBO_5$  y DQO), nitrato y fósforo total, coliformes totales y cloro libre. Esto se reafirma al analizar el proyecto de reglamento que busca normar la calidad del agua gris tratada para distintos usos en Chile.[14]
- El pH de las aguas grises tiende a ser alcalino por la presencia de jabones y detergentes provenientes de duchas, lavadora y lavaplatos.[15]
- Existe presencia de coliformes en la aguas grises, provenientes principalmente de tinas, duchas y lavadoras aunque también existen registros en aguas provenientes de lavaplatos, asociadas al mal manejo de alimentos o al lavado de los mismos.[16]
- Las aguas provenientes del lavaplatos presenta mayores exigencias en su tratamiento debido a la mayor  $DBO_5$ , SST y presencia de grasas y aceites.
- Dependiendo de los jabones y detergentes que se utilicen, puede haber aportes significativos de sal, sodio, boro o cambios importantes en el pH que podrían ser relevantes si se considera utilizar esta agua para riego. Otros productos de limpieza como blanqueadores a base de cloro también pueden resultar dañinos.[17]

Por su mayor grado de pureza con respecto a las aguas negras, las aguas grises pueden ser tratadas utilizando procesos más sencillos que las utilizadas para tratar las aguas servidas.

Por otro lado, las aguas lluvia tienen características significativamente diferentes a las aguas grises y negras, especialmente en cuanto a los contaminantes que pueden tener. En este sentido es relevante el equilibrio que existe entre distintos iones que son absorbidos en la atmósfera, y que provienen de distintas fuentes.[18]

Estas especies se equilibran en las gotas de precipitación, dando como resultado ambientes generalmente ácidos, debido a los aportes proveniente de procesos de combustión incompleta, calefacción, agricultura, actividad industrial entre otros atribuibles a la acción humana. Además el agua lluvia se encuentra contaminada con elementos arrastrados desde las superficies sobre las que escurre como sedimentos o aceites presentes sobre tejados o calles.[18]

Esto permite inferir que el agua lluvia podría no requerir el mismo tratamiento que las aguas grises y, además, que podría no ser conveniente que fuesen almacenadas juntas debido a que es posible asumir a priori que las aguas lluvia contienen una concentración de patógenos muy inferior en relación con las aguas grises.

Tanto las aguas lluvia como las aguas grises ya tratadas pueden ser empleadas en usos no potables como el riego de plantas, el llenado de cisternas de inodoros, limpieza de superficies o procesos productivos[17], dependiendo de las normativas específicas de cada país en torno a los parámetros que debe cumplir el agua gris tratada para poder ser utilizada de una determinada manera.

## 1.1.7. Antecedentes legales

### 1.1.7.1. Normativa Chilena

El avance en materia legislativa de los temas relacionados con el uso de aguas grises ha sido impulsado principalmente por el Ministerio de Obras Públicas, el Ministerio de Salud, y diversas organizaciones del mundo civil, dentro de las que destacan las fundaciones “Un Alto en el Desierto” y “Pro Bono” por su participación directa en la tramitación en el Congreso de Chile de la ley que busca regular la recolección, reutilización y disposición de aguas grises. A continuación se señalan los cuerpos normativos relacionados con la reutilización de aguas grises, y sus principales implicancias relacionadas con el proyecto.

#### 1. Ley N°21075.[19]

Con fecha 15 de febrero del año 2018 fue publicada la ley N°21075 del Ministerio de Obras Públicas que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises. En esta se plantean las principales definiciones en torno a los proyectos asociados a recolección, reutilización y disposición de aguas grises (Artículo 2), así como los organismos y procesos asociados a la aprobación de estos. Entre los puntos más relevantes se encuentran:

- Artículo 3. Estipula que será la autoridad sanitaria regional quien deberá aprobar el proyecto y autorizar el funcionamiento del sistema de reutilización de aguas grises, de acuerdo con la documentación solicitada y a lo estipulado en el Artículo 7 del Código Sanitario, siendo el Ministerio de Salud el encargado de dictar un reglamento que contenga las condiciones sanitarias que estos deben cumplir.
- Artículos 8 y 9. Establecen los usos posibles para las aguas grises. En este sentido el elemento más relevante es aquel que indica que se prohíbe la reutilización de aguas grises para riego de frutas y hortalizas que crezcan a ras de suelo y suelen ser consumidas crudas por las personas, o que sirvan de alimento a animales que pueden transmitir afecciones a la salud humana.

#### 2. Código sanitario (Artículo 7)[20].

En este se estipula que la duración de los permisos concedidos por los Servicios de Salud tendrá una duración mínima de 3 años, prorrogables automáticamente por igual plazo a menos que este no sea expresamente dejado sin efecto.

De igual manera, la autoridad sanitaria ante quien se presenta una solicitud de autorización o permiso tendrá un plazo de 30 días hábiles desde que el requirente complete

los antecedentes exigidos para pronunciarse, luego de lo cual se entenderá que la autorización fue concedida.

### 3. Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas de aguas grises.[14]

De acuerdo con la Ley N°21075 es el Ministerio de Salud el encargado de redactar el reglamento con las condiciones sanitarias que deben cumplir las aguas grises. Pese a que la ley fue publicada a inicios del año 2018, la tramitación del reglamento se ha visto interrumpida ante críticas que señalan que el proyecto presentado habría sido pensado con estándares que impiden que se puedan reutilizar aguas grises a nivel doméstico o en zonas rurales y vulnerables, aparte de no señalar la forma en que se llevaría a cabo la regulación de aquellos sistemas que ya se encuentran operativos, entre otras.

Entre los puntos más relevantes planteados por el proyecto de reglamento se encuentran:

- Título I, Artículo 6. Restringe la utilización de aguas grises a aquella que proviene de lavamanos, duchas, tinas y lavadoras, quedando fuera los lavaplatos y máquinas lavavajillas.
- Título I, Artículo 7. Indica que todo sistema de recuperación de aguas grises debe contar con un proyecto aprobado por la Secretaría Regional Ministerial de Salud (SEREMI), elaborado por un profesional del área de la ingeniería, en cuyo ámbito de competencia se encuentre el tratamiento de aguas.
- Título I, Artículo 8. El proyecto debe contar al menos con:
  - Memoria técnica y planos del proyecto que describan el diseño del sistema.
  - Cálculo del volumen de aguas grises generado por el sistema y utilizado de acuerdo con el uso previsto, en un determinado periodo de tiempo.
  - Manual de operación del sistema.
  - Definición de los parámetros de control del sistema de tratamiento que permitan verificar su adecuado funcionamiento.
  - Copia del título profesional de ingeniería, en cuyo ámbito de competencias se incluya el tratamiento de aguas, del responsable del diseño del sistema de reutilización de aguas grises.
- Título II, Artículo 21. Condiciones de estanques de almacenamiento de aguas grises.
- Título III, Artículos 24 a 30. Sobre la mantención y operación del sistema de recuperación de aguas grises.
- Título IV, Artículo 31. Define cuatro usos posibles que tendrán las aguas grises tratadas, siendo estos el uso urbano, riego áreas recreativas y de servicios, riego ornamental y uso industrial. El uso correspondiente al proyecto propuesto en este trabajo es el uso urbano, que considera la recarga de inodoros y urinarios y el riego de jardines privados.
- Título IV, Artículo 35. Define la calidad del agua tratada para uso urbano según la Tabla 1.2

Tabla 1.2: Niveles máximos de indicadores de calidad del agua para uso urbanos según proyecto de reglamento de Ministerio de Salud, Chile.

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO <sub>5</sub>	mg/L	10
SST	mg/L	10
CF	UFC/100mL	10
Turbiedad	UNT	5
Cloro libre residual	mg/L	$0,5 \leq X \leq 2$

#### 4. Norma chilena oficial N°1333 (NCh N°1333) [21].

Esta norma establece la calidad que debe tener el agua según su uso, de acuerdo con criterios físicos, químicos y biológicos. Esta normativa representa el marco legal vigente sobre calidad de agua para riego, hasta la aprobación del ya mencionado reglamento sobre condiciones sanitarias básicas de aguas grises.

En cuanto al uso de agua para riego se establecen:

- Requisitos químicos: Establece una serie elementos químicos con sus concentraciones máximas permitidas en agua destinada a riego. Además, establece que el pH debe estar en el rango de 5,5-9 y las consideraciones especiales que se debe tener ante la presencia de pesticidas. Por último, genera clasificación de las aguas según la conductividad específica y los sólidos disueltos totales.
- Requisitos biológicos: Establece que el contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras o frutas que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1000 [NMP/100mL]’

Las tablas con los requisitos establecidos por la NCh 1333 se encuentran anexadas en el Anexo 6.2.

#### 1.1.7.2. Normativa Internacional

En consideración de que la normativa chilena sobre el manejo de aguas grises se encuentra aún en discusión, siendo factible que esta se modifique, se presenta legislación asociada al tratamiento y reutilización de aguas grises aplicada en países referentes en esta materia.[15]

##### 1. NSF/ANSI 350-1. [22]

La Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, por sus siglas en inglés) ha desarrollado con la autorización del Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI, por sus siglas en inglés) distintos estándares estadounidenses en los ámbitos de la salud y seguridad pública, el medio ambiente y la sostenibilidad. Entre estas, la NSF/ANSI 350-1 regula los sistemas de tratamiento de aguas grises en instalaciones residenciales y comerciales, para su descarga subsuperficial.

Los niveles máximos aceptados según este reglamento se encuentran resumidos en la Tabla 1.3

Tabla 1.3: Niveles máximos de indicadores de calidad del agua según reglamento NSF/ANSI 350-1

Parámetro	Unidad	Valor
$DBO_5$	mg/L	25
TSS	mg/L	30
pH	-	6-9
Color	-	Solo reportar
Olor	-	Sin olor desagradable
Capas aceitosas y espuma	-	No detectable
Consumo de energía	-	Solo reportar

## 2. US EPA.[23]

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos define valores apropiados en distintos parámetros, dependiendo del uso que se le dará. Para esto considera las categorías:

- Ilimitado: Uso de agua tratada en aplicaciones no potables, para uso en instalaciones municipales donde el acceso público no está restringido.
- Limitado: Uso de agua tratada en aplicaciones no potables, para uso en instalaciones municipales donde el acceso al público se encuentra controlado o restringido con barreras físicas o institucionales.
- Ambiental: Uso de agua tratada para crear, mejorar, mantener o aumentar cuerpos de agua como humedales y otros hábitats acuáticos.

Los valores promedio requeridos para cada uso se encuentran en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4: Niveles máximos de indicadores de calidad del agua según reglamento US EPA

Parámetro	Unidad	Valor uso ilimitado	Valor limitado	Valor uso ambiental
$BOD_5$	mg/L	$\leq 10$	$\leq 30$	$\leq 30$
TSS	mg/L	-	$\leq 30$	$\leq 30$
pH	-	6-9	6-9	-
Turbiedad	NTU	$\leq 2$	-	-
CT	NMP/100mL	-	-	2,2
CF	UFC/100mL	No detectado	$\leq 200$	$\leq 200$
Poliovirus	-	-	-	5 log inactivación *
Cloro residual	mg/L	1	1	1

\* La reducción de los microorganismos se suele expresar en logaritmos decimales, correspondiéndole un determinado porcentaje de reducción o inactivación según la expresión

$$x = -(\log(1 - \%de\ reducción)).$$

En este caso se tiene que 5 log inactivación = 99,999% de inactivación

Además, para poder hacer uso ilimitado del agua tratada se requiere que no se excedan los 5[NTU] de turbiedad y los 14 [mg/100mL] de CF (coliformes fecales) en ninguna muestra. En el caso de los usos limitados y ambiental se requiere que la concentración de coliformes fecales no supere los 800[mg/100mL] en ninguna muestra.

### 3. Australia GWA.[24]

En el caso de la normativa australiana se plantean 3 estándares de calidad referidos a la reutilización de aguas grises: uno que permite su reutilización puertas adentro en usos no potables como el llenado de cisternas de inodoros, y riego superficial y subsuperficial, y dos que permiten su reutilización puertas afuera para riego superficial y subsuperficial. Los valores específicos se encuentran resumidos en la Tabla 1.5

Tabla 1.5: Niveles máximos de indicadores de calidad del agua según reglamento GWA.

Parámetro	Unidad	Uso puertas adentro	Irrigación subsuperficial puertas afuera	Irrigación superficial puertas adentro
DBO <sub>5</sub>	mg/L	$\leq 10$	$\leq 20$	$\leq 20$
SST	mg/L	$\leq 10$	$\leq 30$	$\leq 30$
<i>E. coli</i>	UFC/100mL	$\leq 1^*$	-	$\leq 10$

En el caso del uso puertas adentro se debe considerar además que se exige que la concentración de colifagos no sea superior a 1 [UFC/100mL] y la de clostridios a 1 [UFC/100mL].

#### 1.1.8. Experiencias en tratamiento de aguas grises

A continuación, se presentan experiencias relevantes a nivel nacional e internacional en lo que respecta a proyectos de reutilización de aguas grises.

##### 1. Chile.

Como se planteó anteriormente, la legislación en Chile aun no es clara sobre la reutilización de aguas grises, por lo que los proyectos de este tipo se llevan adelante sin que exista una normativa precisa que defina los estándares bajo los que estos deben funcionar.

No obstante, es posible encontrar registros que indican ya el año 2007 que en la isla de RapaNui, debido a sus condiciones de aislamiento y a la limitada capacidad de las fosas sépticas, cerca de un 36 % del agua utilizada para regar áreas verdes correspondía a aguas grises, sin embargo, esta no habría sido sometida a ningún tratamiento especial ya que, en términos concretos utilizaba el agua de las lavadoras para regar los jardines, práctica habitual también en sectores rurales sin acceso a sistemas de alcantarillado. El mismo trabajo indica que para esa fecha habría al menos 5 proyectos de reutilización de aguas grises implementados en colegios gracias al Fondos de Protección del Ambiente y auspicios de empresas mineras.[25]

Ejemplos actuales de este tipo de proyectos son los casos de las escuelas El Palqui y Lucila Godoy Alcayaga, las que se adjudicaron el Fondo de Protección Ambiental los años 2016 y 2019 respectivamente, para desarrollar proyectos en que, por medio de filtros, se trata el agua proveniente de los lavamanos para ser utilizada en el riego de plantas y el mantenimiento de un huerto del mismo establecimiento.[26][27]

Otro proyecto relevante de mencionar es el llevado a cabo en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, que consiste en una planta que desde

el año 2014 permite tratar las aguas provenientes de 50 duchas y 34 lavamanos ubicadas en los camarines de las instalaciones deportivas, para ser utilizada en el riego de las áreas verdes de la misma Facultad.[28]

Por otro lado, la organización Un Alto en el Desierto estima que después de 8 años de trabajo conjunto con escuelas de Ovalle, han logrado tratar más de 1 millón de litros de aguas grises utilizando un modelo de filtro que consiste en una columna llena con zeolitas y otras dos con carbón activado.[29]

Finalmente, existe la experiencia de la pyme “Gota a Gota” que gracias al financiamiento de CORFO logró diseñar y ejecutar un prototipo que permite reutilizar las aguas de lavadoras.[30] Se puede ver un esquema del sistema en el Anexo 6.3.

De esta manera, el desarrollo de prácticas de reutilización de aguas grises en Chile se restringe a experiencias asociadas a lugares en que no se cuenta con tratamiento de aguas negras, como el caso de RapaNui, y a casos aislados desarrollados principalmente en centros educacionales y organizaciones específicas.

## 2. Australia.

Australia ha sido afectada por fuertes sequías que han impulsado el desarrollo de proyectos y normativa en torno al mejor aprovechamiento del agua. Uno de estos proyectos es el que se lleva a cabo en la comunidad de retiro *Sunset Ridge* ubicado en el estado de Queensland.

Las instalaciones de la comunidad consisten en 100 villas independientes, un complejo residencial de 120 camas e instalaciones propias de un centro turístico, a los que se acopla un sistema de recuperación de aguas grises debido a los beneficios ambientales y su aprovechamiento dentro de la residencia. Este sistema trata aproximadamente 25 [m<sup>3</sup>/día] provenientes de duchas, tinas y lavamanos para su uso en cisternas de inodoros y el riego de jardines. El tratamiento se lleva a cabo principalmente en un biorreactor de membrana modular (MBR) debido a los beneficios que entrega esta tecnología en la reducción del material orgánico, tanto solubles como insolubles. Además, pese a que es común que se utilicen filtros para tratar las aguas grises, la opción del MBR es más resiliente ante distintas calidades de agua. Finalmente, el agua es desinfectada mediante luz ultravioleta (UV) y cloración.[31]

Otro caso es el de una cafetería que trata las aguas grises generadas utilizando un biofiltro, lo que permite degradar la alta carga de materia orgánica de estas aguas producidas durante el lavado de loza. El sistema consiste en bandejas con grava y astillas dispuestas verticalmente una sobre otra, sobre las que cae el agua, pasando de una bandeja en otra por acción de la gravedad. Los microorganismos que crecen en la mezcla de grava y astillas degradan hasta un 95 % de la materia orgánica y reducen al mínimo el contenido de grasa. Posteriormente el agua pasa a una superficie con plantas como totoras o juncos, las que reducen los niveles de nutrientes presentes en el agua.[32]

Se puede ver un esquema de este sistema en el Anexo 6.4.

## 3. Humedales de flujo vertical recirculado (RVFCW por sus siglas en inglés) - Perú/Israel [32]

En la búsqueda de generar sistemas descentralizados de tratamiento de aguas grises se ha dado con la experiencia de humedales de flujo vertical. Estos consisten en 3 capas (una

superior de suelo orgánico en que se plantan macrófitas, una segunda capa de piedras con alta porosidad y una tercera capa de grava y piedra caliza.

El agua gris es ingresada por la parte superior y es filtrada en la medida que esta pasa a través de las 3 capas verticalmente. Además, la presencia de macrófitas permite la absorción de nutrientes y otros elementos disueltos en el agua. Esta agua posteriormente pasa a un contenedor del cual es bombeado nuevamente a la parte superior del humedal artificial, repitiendo así el proceso. Luego, antes de ser utilizada, el agua pasa por un filtro de 130 [ $\mu m$ ] para evitar atascos en la línea e ineficiencias en la posterior desinfección con luz ultravioleta.

Estos sistemas tienen el principal beneficio de ser muy económicos y alcanzar calidades relativamente altas, que permiten darle al agua tratada usos urbanos, agrícolas y para el riego de jardines.

#### 4. Colombia.[32]

El año 2004 se desarrolló en la Universidad de Quindío un sistema de recuperación de aguas grises, en el marco de un seminario nacional de hidrología. El proceso inicia con la separación de las aguas grises las cuales son vertidas en un tanque clarificador, donde se le adiciona sulfato de aluminio. Posteriormente el agua superficial es descargada a un estanque, donde es almacenada para ser bombeada nuevamente hacia una etapa de filtrado con grava, arena, antracita (tipo de carbón mineral) y carbón activado.

Por último, esta agua llega a un estanque distribuidor, que surte por gravedad a los estanques de los inodoros, al lavadero, lavadora, lavado de vehículos y el riego de jardines.

Se puede ver un esquema de este sistema en el Anexo 6.5.

#### 5. Suecia.[32]

En este caso se utiliza un sistema que incluye zonas de purificación subterránea, lagunas de estabilización y filtros.

El agua gris pasa inicialmente por un filtro de grava de caliza, disminuyendo así su carga orgánica gracias a la retención de esta en el filtro y la degradación por acción de bacterias. Posteriormente, pasa a una zona con vegetación donde se reduce su carga de nutrientes debido a que estas fijan el nitrógeno que está presente en el agua. Luego el agua pasa a una laguna desde la que ingresa nuevamente a otra sección de “purificación”, antes de llegar a un filtro de arena luego del cual es almacenada en un pozo.

Se puede ver un esquema de este sistema en el Anexo 6.6.

#### 6. Sistema de 2 y 4 barriles (Jordania).[32]

El sistema de dos barriles consiste en un sistema en que el agua gris ingresa a un barril, en el cual sedimentan los sólidos y flotan los aceites, grasas y jabón. Por medio de una tubería, el agua clarificada pasa al segundo estanque el cual cuenta con un sensor de nivel que activa una bomba para que esta entregue agua a la red. El sistema de 4 barriles tiene el mismo funcionamiento, pero se agregan posterior a la clarificación 2 barril en serie lleno de grava, en los que ocurre un proceso de degradación anaeróbica producto de las bacterias que crecen en la superficie de la grava. Se puede revisar un esquema de este sistema en el Anexo 6.7.

De esta revisión destaca la utilización de procesos que aprovechan la actividad de plantas o bacterias de manera innovadora, para tratar los casos en que se tiene afluentes con altos niveles de  $DBO_5$  o SST.

Por lo demás se observa que existen sistemas de distinta complejidad entre los que destacan opciones con bajos o nulos costos de operación, que aprovechan la gravedad y las propiedades físicas de los contaminantes para tratar los flujos de aguas grises.

Entre los métodos físicos utilizados para tratar los flujos de aguas grises existen dos grandes opciones: filtros o trampas de grasa / sedimentadores. La principal diferencia que existe entre estas dos opciones tiene que ver con el trade off entre volumen y autonomía. Los filtros tienen diseños más compactos que las trampas de grasa, ya que estas basan su operación en lograr cierto tiempo de retención hidráulico (TRH) que garantice que los contaminantes se separen del flujo de agua debido a diferencias de densidad, lo que las hace más eficientes en la retención de aceites que los filtros. Por otro lado, los filtros requieren del cambio periódico del medio filtrante, que va perdiendo eficiencia en la medida que retiene partículas en su lecho, lo que los hace menos autónomos que las trampas de grasa que solo requieren de vaciados periódicos de los aceites o sedimentos que se acumulen, sin que se requiera la compra de nuevos insumos.

En síntesis, la experiencia comparada en torno al tratamiento de aguas grises sugiere una amplia gama de sistemas con distintas configuraciones y equipos, que dependerán del contexto en que se sitúan, las características de los flujos a tratar y el uso que tendrá las aguas tratadas. Para esto se siguen principalmente tres indicadores de calidad:  $DBO_5$ , SST y la presencia de patógenos.

Tanto la experiencia comparada en tratamiento y reutilización de aguas grises, como el análisis de la legislación internacional en la materia, permiten vislumbrar puntos conflictivos en torno al proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas de aguas grises. En primer lugar, las cuatro categorías a las que se restringe el uso de agua gris tratada reflejan que las áreas rurales no han sido consideradas en esta normativa, al punto que el uso más apropiado para el proyecto de la presente memoria es el denominado “uso urbano”. En segundo lugar, el proyecto de reglamento limita el origen de las aguas grises a duchas, tinas, lavamanos y lavadoras, excluyendo a aquellas provenientes de lavaplatos. En este sentido la experiencia y normativa internacional muestra que, aunque las aguas grises provenientes de lavaplatos y lavavajillas tienden a tener mayores niveles de  $DBO_5$  y SST, así como la presencia de grasas y aceites, esto no es un impedimento para que puedan ser tratadas hasta el punto en que cumplan con los estándares de calidad definidos según el uso. Por último, se comprueba que en términos generales los límites de calidad del agua establecidos por el proyecto de reglamento son concordantes con lo exigido por la legislación internacional consultada, pudiendo ser valioso incluir parámetros de control sensorial como en el caso de la NSF/ANSI350-1, que incorpora el olor, color y la detección visual de capas aceitosas y espuma como parámetros de calidad del agua.

## 1.2. Objetivos y alcances

### 1.2.1. Objetivo general

El objetivo principal del presente trabajo es diseñar un sistema de tratamiento de aguas grises para obtener agua con calidad de riego, en contexto de la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla Newen Lafquen, ubicada en la comuna de Toltén, Región de la Araucanía.

## 1.2.2. Objetivos específicos

Para el cumplimiento del objetivo general se desarrollarán los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar el contexto concreto de La Comunidad para obtener información sobre ámbito sociocultural y sobre la calidad y origen de las aguas grises a tratar.
- Estudiar el estado del arte en cuanto al tratamiento de las aguas grises a escala domiciliaria.
- Analizar diferentes propuestas para el tratamiento de las aguas grises y aplicabilidad al contexto señalado.
- Diseñar una propuesta de sistema de tratamiento de aguas grises en base a criterios técnicos, económicos y la pertinencia en el contexto estudiado.

## 1.2.3. Alcances

El presente trabajo solo abarcará el diseño del sistema de tratamiento de aguas grises y de recolección de aguas lluvia, quedando a definición de La Familia la forma específica en que se utilizará esta agua para el riego de plantas o llenado de cisterna.

## 1.2.4. Limitantes

La principal limitante al desarrollo del trabajo se encuentra en que este está fuertemente determinado por el actual contexto de pandemia, lo que impone limitaciones a la información que es posible de recabar, tanto para la identificación del problema como para la medición de flujos, su composición y las dimensiones de la casa y el terreno en que se desarrolló el proyecto. Esto fue en parte subsanado manteniendo conversaciones periódicas con miembros de La Comunidad y realizando una visita en terreno por un periodo de 10 días durante el mes de noviembre del año 2020.

En segundo lugar, La Familia se encuentra actualmente desarrollando un proyecto de construcción de su invernadero el cual recibirá las aguas grises tratadas. En este sentido es que el presente proyecto de memoria no establecerá definiciones en cuanto al método de riego que se utilice, aunque se realizan estimaciones relacionadas con el volumen de agua generada, la eficiencia de distintos sistemas de riego y los cultivos que se siembren.

Finalmente, por las limitantes asociadas al financiamiento y a la relativa lejanía de La Comunidad con respecto a los laboratorios a los que fue posible acceder, es que los análisis realizados a las muestras presentan errores asociados a no haber sido llevados a cabo inmediatamente después de ser recogidas, sino que con hasta 4 días de diferencia en el peor de los casos.

# Capítulo 2

## Marco teórico

### 2.1. Aguas grises y aguas lluvia

#### 2.1.1. Caracterización general de aguas grises

Como se menciona anteriormente, las aguas grises son aquellas aguas de uso doméstico que no han sido contaminadas con excretas. Esto hace que estas aguas sean, en términos generales, considerablemente más simples de tratar por su menor carga orgánica y presencia de coliformes fecales.

No obstante, entre las aguas grises existen diferencias sustantivas dependiendo de distintos factores culturales (la forma en que se utiliza el agua por distintas comunidades), de origen del agua (la calidad del agua es distinta dependiendo de su origen y los procesos de potabilización empleados) y el uso específico que se le da al agua antes de ser desechada. Con respecto a esto último se realiza la siguiente caracterización general[33]:

- Lavaplatos/lavavajillas: El agua proveniente de lavaplatos y lavavajillas se encuentra altamente contaminada con partículas de comida, grasa, aceite generando altas concentraciones de  $\text{DBO}_5$  y SST. Estos últimos sirven a su vez como soporte para microorganismos como coliformes termotolerantes, que se han encontrado en rangos entre los  $10^5$  y  $10^6$  [UFC /100mL].

El uso de detergentes les otorga un carácter alcalino a estas aguas, e incorpora compuestos químicos como sales o cloro.

- Lavamanos y ducha: Es la fuente de agua gris más limpia dentro de un hogar. Pese a esto la presencia de coliformes termotolerantes se encuentra en rangos de  $10^4$  -  $10^6$  [UFC/100mL], siendo mayores en las duchas.

El uso de jabón, champú, pasta de diente y otros productos de limpieza son la principal fuente de contaminantes químicos de esta fuente de aguas grises.

- Lavadora: Considerando el funcionamiento en ciclos, se puede mencionar que el primer vaciado de la lavadora tiene una mayor concentración de contaminantes que los siguientes, llegando en el caso de los coliformes termotolerantes de una concentración de  $10^7$  [UFC/100mL] en el primer vaciado, a una de 25[UFC/100mL] en un segundo.

En el caso de los contaminantes químicos, estos son aportados principalmente por los detergentes y otros productos de limpieza, y la ropa sucia. Dentro de estos contaminantes destacan el sodio, fosfato, boro, surfactantes, amoníaco y nitrógeno.

En términos físicos es agua con alta turbiedad y concentración de SST.

### 2.1.2. Caracterización general de aguas lluvia

Según lo mencionado en el Capítulo 1, las características de las aguas lluvia están fuertemente determinadas por el lugar en que ocurre la precipitación. De esta manera se pueden considerar distintos contaminantes químicos, físicos y microbianos.

En cuanto a los contaminantes químicos es posible encontrar una serie de iones aportados por distintas fuentes, destacando las que se presentan a continuación.[18]

- Fuentes marinas aportan esencialmente  $Na^+$  y  $Cl^-$ .
- Fuentes terrestres, como el polvo presente en el suelo, aportan  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $HCO_3^-$ .
- Fuentes antropogénicas aportan, entre otros, dióxido de azufre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), los que se encuentran asociados a la actividad humana y son los principales precursores del fenómeno conocido como “lluvia ácida”. Estos compuestos presentes en la atmósfera reaccionan en contacto con el agua, produciendo disoluciones con iones  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  y  $CO_3^{2-}$ , dependiendo del precursor.

Los aportes de estas fuentes tienden a darle un carácter predominantemente ácido a la lluvia, principalmente debido a que muchas mediciones están asociadas a asentamientos humanos, donde los iones provenientes de fuentes antropogénicas predominan por sobre el resto.

Otra fuente de contaminación de las aguas lluvia ocurre al momento de caer sobre las superficies, donde el agua disuelve y arrastra distintos contaminantes físicos y bacterias, dentro de las que destacan los coliformes.

En la Tabla 2.1 se presentan los resultados de mediciones de calidad de aguas lluvia realizadas en distintos lugares. En el caso de Palestina se estudia la calidad del agua lluvia de las cisternas en que son acumuladas por los habitantes del pueblo de Yatta. Aquí, debido a lo antigua e inadecuada de las redes de agua potable, se estima que la disponibilidad de agua es de  $20[L/d]$  por persona, por lo que el almacenaje de aguas lluvia es una importante contribución.

El caso de Tanzania es resultado del análisis de 14 muestras en una zona urbana de la región oeste del país y 10 en una zona rural del norte del país, las que fueron analizadas con el fin de determinar el nivel de toxicidad de esta y las diferencias entre las muestras urbanas y rurales.

Finalmente, el caso australiano es resultado de mediciones realizadas en distintos estanques de almacenaje de aguas lluvia instalados en 11 lugares representativos de Sídney, ciudad que ha experimentado restricciones generalizadas de agua.

De estas experiencias se puede concluir que en términos generales el agua de lluvia cuenta con calidad de agua potable, sin existir muchas diferencias significativas entre los resultados obtenidos en las zonas rurales y urbanas, de acuerdo con los datos del caso de Tanzania. Si destaca como un elemento importante el que algunas mediciones de la experiencia de Australia presentaron concentraciones de metales pesados superiores a las recomendadas para el consumo humano. Por último, la experiencia australiana destaca dentro de sus conclusiones que, en la medida que avanza el tiempo de almacenamiento, el pH del agua lluvia tiende a neutralizarse y otros parámetros como la turbiedad y los SST se reducen.

Tabla 2.1: Resumen de mediciones de calidad de aguas lluvia en Palestina, Tanzania y Sídney. Experiencias urbanas y rurales.

Parámetro	Unidad	Área de Yatta, Palestina. [34]	Isla Unguja, Tanzania [35]		Sidney, Australia [36]
		Área rural.	Área rural.	Área urbana	Área urbana.
pH (rango)	-	7,2 (7,0 - 7,6)	6,290 (5,8 - 7,1)	6,865 (6,4 - 7,7)	6,97 (5,41 - 8,62)
Electroconductividad (rango)	$\mu S/cm$	389 (189 - 632)	14,288 (5,08 - 35,6)	13,848 (5,10 - 33,0)	70 (10 - 160)
SST (rango)	mg/L				2,33 (0,5 - 17,0)
SDT (rango)	mg/L	200,0 (94 - 316)	7,912 (1,68 - 20,16)	7,545 (2,415 - 16,11)	46,23 (7,48 - 107,44)
Turbiedad (rango)	NTU	0,88 (0,18 - 7,83)			1,92 (0,2 - 12,0)
Coliformes fecales (rango)	UFC/100mL	35 (0 - 316)			
Coliformes totales (rango)	UFC/100mL	696,0 (19 - 2300)			
$SO_4^{2-}$ (rango)	mg/L		1,57 (BND <sup>(2)</sup> - 5,0)	1,507 (BND - 4,5)	2,75 (0,81 - 9,81)
$NO_3^-$ (rango)	mg/L				0,44 (0,05 - 0,91)
$Cl^-$ (rango)	mg/L	55,0 (26 - 140)			8,08 (1,91 - 22,96)
$F^-$ (rango)	mg/L		0,75 (BND - 0,25)	0,1057 (BND - 0,5)	
$K^+$ (rango)	mg/L				0,8 (0,01 - 2,85)
$Na^+$ (rango)	mg/L				3,47 (0,61 - 15,09)
$Ca^{2+}$ (rango)	mg/L		3,136 (0,163 - 8,41)	3,529 (0,49 - 24,331)	6,41 (0,14 - 15,88)
$Fe^{2+}$ (rango)	mg/L		0,0012 ((BND - 0,0037)	0,0127 (BND - 0,068)	0,31 (0,0 - 0,47)
$Mg^{2+}$ (rango)	mg/L				0,67 (0,04 - 4,84)
$NH_4^+$ (rango)	mg/L	1,5 (0 - 13)			
$Cu^{2+}$ (rango)	mg/L		0,021 (BND - 0,052)	0,035 (BND - 0,18)	0,16 (0,0 - 2,37)
Plomo (rango)	mg/L				0,01 (0,0 - 0,067)
Zinc (rango)	mg/L				0,23 (0,01 - 1,41)
$CrVI$ (rango)	$[\mu g/l]$		0,0097 (BND - 0,04)	0,00057 (BND - 0,003)	

<sup>(1)</sup> Los valores representan el promedio de las mediciones en cada caso.

<sup>(2)</sup> BND. Bajo Nivel de Detección.

<sup>(3)</sup> Datos inconsistentes, puesto que promedio es mayor que valor máximo.

### 2.1.3. Consideraciones sanitarias

Como se menciona en el título anterior, el agua lluvia suele cumplir con los estándares exigidos para el consumo humano, aunque debe considerarse la eventual presencia de contaminantes peligrosos como son los metales pesados y coliformes, que pueden ser incorporados en el paso del agua lluvia por las distintas superficies previas a su almacenamiento. [34] [35] [36]

En cuanto a la reutilización de aguas grises, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propone en el documento *Overview of greywater management health considerations*, una serie de consideraciones acerca de la reutilización de aguas grises relacionadas con la salud de las personas y los efectos que esta puede tener en plantas, suelos y el medioambiente en general.[13]

En principio se asume que los usuarios u operarios de los sistemas de tratamientos de aguas grises evitarán que en estos ingresen sustancias inapropiadas que se alejan de los usos

domésticos como lo son pinturas, solventes, anticongelante, etc. Pese a esto, las aguas grises mantienen el potencial de transmitir enfermedades, ya sea a través del contacto directo de esta con las personas, la exposición a aguas grises de frutas o vegetales que posteriormente sean ingeridas, la inhalación de aerosoles o polvo debido al utilizarla para el riego, o a través de vectores como roedores e insectos.

Aunque el documento de la OMS no registra casos en que hayan sucedido incidentes serios sobre la salud de las personas a causa de la reutilización de aguas grises, el documento explicita elementos a considerar sobre el manejo de estas con tal de reducir los riesgos para la salud humana.

En este sentido, debe evitarse el contacto directo de las aguas grises con personas y plantas comestibles, por lo que no es recomendable, por ejemplo, que ésta escurra superficialmente o se utilice para el riego con aspersores. Además, se debe evitar el contacto de las aguas grises con vectores, en particular mosquitos que pudieran ocupar alguna etapa del proceso para realizar sus procesos de cría.

Debido a que uno de los usos comunes que se les da a las aguas grises es el de riego de plantas, es importante evaluar los posibles riesgos para la salud de las plantas que sean regadas con estas aguas, así como los efectos sobre la tierra que las sostiene. Aunque las aguas grises pueden resultar beneficiosas para las plantas por su mayor contenido de nutrientes, estas también pueden contener sodio y cloruro que les resultan dañinos a algunas de ellas.

Por otro lado, el suelo tiende a adquirir un carácter alcalino que puede resultar dañino para algunas plantas adaptadas a suelos ácidos. Esto debido a la presencia de sales de sodio, potasio y calcio. En particular el contenido de sodio también afecta la capacidad del suelo de absorber y retener el agua, empeorando así la absorción de agua por parte de las raíces.

Estos químicos son aportados principalmente por productos de limpieza de uso doméstico, los que además pueden contener otros compuestos químicos dañinos como el boro [17]. En la Tabla 2.2 se resumen los principales químicos presentes en las aguas grises y sus efectos específicos sobre las plantas y el suelo.

Tabla 2.2: Resumen de principales químicos presentes en las aguas grises y sus efectos sobre plantas y suelos.

Compuesto químico	Efecto
Boro	Micronutriente necesario para las plantas en bajas concentraciones, las cuales son aportadas por la gran mayoría de los suelos de manera suficiente. Niveles superiores a los necesarios pueden causar daños o la muerte de la planta.
Nitrógeno	Nutriente necesario para el crecimiento de las plantas, por lo que su presencia resulta extremadamente beneficiosa.
Fósforo	Nutriente necesario para el crecimiento de las plantas, por lo que su presencia resulta beneficiosa.
Potasio	Nutriente que resulta beneficioso en términos generales para las plantas, especialmente en aquellas que se encuentren en suelos con alta alcalinidad.
Sodio	Puede tener un efecto tóxico en las plantas al reducir la habilidad de estas para captar agua desde el suelo.
Cloro	En grandes cantidades pueden llegar a dañar las plantas. Suele estar presentes en blanqueadores y algunos detergentes

El documento de la OMS plantea elementos a considerar sobre el manejo de las aguas

grises con tal de reducir los riesgos para la salud de las plantas. En este sentido lo más importante es controlar el uso de productos de limpieza que puedan contener niveles altos de cloro, sodio o boro. En cualquier caso, se recomienda que de ser necesario el uso de estos productos, esta agua sea descartada en conjunto con las aguas negras, sin pasar por el sistema de recuperación de aguas grises. Otro contaminante importante es el aceite usado para cocinar, ya que su presencia en el agua de riego puede generar que se obstruyan las raíces de las plantas.

Se recomienda además que esta agua se utilice para el riego de plantas bien establecidas, ya que plántulas o plantas jóvenes son más sensibles a los posibles contaminantes presentes en las aguas grises.

En cuanto al manejo de los efectos sobre el suelo las medidas propuestas se restringen al control de la alcalinidad suministrando químicos como sulfato de calcio, y la dilución del agua gris con agua lluvia para limpiar el suelo de la acumulación de sodio que se haya podido ir generando en el tiempo.

En lo que refiere al almacenamiento, el documento de OMS señala que esto no es recomendable ya que eventualmente toda agua residual se volverá séptica si es almacenada sin ser tratada adecuadamente. En los casos en que esta haya sido tratada y desinfectada, puede llegar a ser almacenada entre 24 y 48 horas.

Debe tenerse en cuenta que las aguas grises tienen calidades significativamente distintas a las aguas negras, el agua potable y el agua lluvia, por lo que debe resguardarse que no exista contaminación cruzada entre estas líneas, así como que exista la debida señalización de la línea de tratamiento, las etapas y puntos de uso de agua gris tratada.

En el Anexo 6.8 se adjunta una tabla elaborada por EPA, basada en un documento de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el año 1985, para la evaluación de la calidad del agua para irrigación según la salinidad, parámetros de infiltración, concentración iones específicos como cloro y sodio y otros efectos diversos como el pH y la concentración de nitrato.[31]

## **2.2. Tipos de tratamiento**

### **2.2.1. Aguas grises**

El nivel de tratamiento que tendrá el agua gris dependerá directamente del uso que se le quiera dar. Aunque existen muchas experiencias distintas que consideran las aguas grises de distintas fuentes, existe coincidencia en que para que esta pueda alcanzar la calidad requerida para utilizarse en el riego de vegetales, es necesaria una etapa de separación primaria que permita reducir las grasas, aceites y sólidos suspendidos, una etapa de separación secundaria que permita reducir aún más la concentración de sólidos y materia orgánica, y una etapa final de desinfección en que se inactiven los patógenos que puedan estar presentes. [13] [17] [33]

A continuación, se mencionan algunas tecnologías capaces de llevar adelante estas etapas.

#### **2.2.1.1. Tratamiento primario**

Esta etapa se caracteriza por generar una separación física de los contaminantes, ya sea a través de filtración o por diferencia de densidad. Un ejemplo de esto es la experiencia de Jordania presentada en la sección Experiencias en tratamiento de aguas grises del presente

documento, en que se utilizan sistemas de barriles para permitir que las grasas, aceites y otros contaminantes menos densos floten, y aquellos con mayor densidad decanten. Esta etapa es fundamental por distintas razones. En primer lugar estos contaminantes sirven como sustento para el crecimiento de microorganismos que podrían significar un riesgo para la salud de las personas y generar malos olores debido a la degradación anaeróbica de la materia orgánica, por lo que los procesos de filtración y sedimentación pueden generar reducciones en la concentración de patógenos de entre 3,09 y 4.92 órdenes logarítmicos[37] para *Escherichia coli* y enterococos respectivamente. En segundo lugar, podría atraer vectores de infección que puedan generar problemas a la salud de las personas. Por último, la presencia de partículas en el agua podría generar obstrucciones en el sistema de tratamiento o en el uso que se le dé. Por otro lado, se señalan en la misma sección los casos de las escuelas El Palqui y Lucila Godoy Alcayaga que utilizan distintos filtros para tratar el agua proveniente de los lavamanos de los respectivos establecimientos. [26][27]

### 2.2.1.2. Tratamiento secundario

En esta etapa existe una reducción mayor de los SST y grasas y aceites que hayan podido superar la etapa anterior, además de una reducción importante en la materia orgánica. Eventualmente este proceso también reduce las concentraciones de nutrientes como el nitrógeno y fósforo. Con esto, el agua tratada podría ser utilizada para riego por goteo sin mayores riesgos de obstrucción.

Dentro de las tecnologías posibles de utilizar en esta etapa se encuentran los lodos activados, que también son ampliamente utilizados para el tratamiento de aguas negras y donde la materia orgánica se ve reducida debido a la acción de bacterias, reflejado esto en reducciones importantes de la  $DBO_5$  y la DQO. En este proceso se reduce también de manera relevante la concentración de nitrógeno, fósforo, sustancias inorgánicas y de patógenos, debido a procesos de competencia, digestión y sedimentación.

Otra opción son los humedales artificiales, que resultan ser una tecnología eficiente en la reducción de la materia orgánica, turbiedad, coliformes fecales, *E. coli*, nitrógeno Kjeldahl, amoníaco, aluminio, potasio y fosfato. Por otro lado, no es muy eficiente en la remoción de metales pesados y la disminución de sólidos disueltos.

### 2.2.1.3. Desinfección

La desinfección es la etapa en que los patógenos presentes en el agua gris son inactivados, lo que permite que esta sea utilizada con fines domésticos como el lavado de autos y el riego de plantas.

Existen distintas formas de llevar a cabo la desinfección. En primer lugar, está la posibilidad de agregar productos como hipoclorito de sodio, cloro, cloruro de bromo o hipoclorito de calcio. Estos funcionan oxidando enzimas asociadas a los procesos de respiración, obtención de energía o directamente sobre el ácidos nucleicos de los organismos procariontes.[38]

Otra opción es utilizar radiación UV, la cual inactiva los microorganismos como resultado del daño que genera la radiación UV sobre las proteínas presentes en las membranas celulares, lo que lleva a la ruptura de estas y, en consecuencia, a la muerte de la célula. Además, la absorción de dosis bajas de UV por el DNA puede interrumpir la capacidad del microorganismo de reproducirse, impidiéndole infectar el medio. [39]

Por último, existe la posibilidad de desinfectar el agua utilizando ionizadores. Estos equipos liberan iones de cobre que actúan como desinfectantes, impidiendo a su vez la aparición

de algas. Más específicamente, los iones de cobre ( $Cu^{2+}$ ) forma compuestos con partículas cargadas de la pared de la pared celular de los microorganismos, modificando así la permeabilidad de esta, que produce fallas en la alimentación del microorganismo. [40]

### **2.2.2. Aguas lluvia**

En concordancia con lo mencionado en el título anterior referido a la calidad del agua lluvia, se considera que esta no requiere tratamientos, siendo necesario caracterizar esta agua por la eventual presencia de contaminantes peligrosos como el plomo. Además, se requiere que el agua sea almacenada en un lugar seguro y aislado de posibles vectores de contaminación como mosquitos o roedores.

# Capítulo 3

## Metodología

### 3.1. Bases de diseño

Según la información recopilada tanto de manera bibliográfica como *in situ* con La Familia se postula cumplir con los siguientes valores en el desarrollo del proyecto:

- Considerar la perspectiva de La Comunidad, en la concepción, desarrollo e implementación del sistema.
- Diseño y operación simples, que eviten la necesidad de personal especialmente capacitado para la operación regular del sistema.
- Costos de implementación y operación bajos, que eviten que la familia deba incurrir en gastos adicionales desproporcionados en relación con los beneficios obtenidos.
- El modelo debe tener la perspectiva de ser replicable en otros contextos similares.
- La calidad del agua tratada debe ser suficiente para ser utilizada en el riego de plantas que tengan por fin ser ingeridas.

### 3.2. Metodología específica

Para el desarrollo del presente trabajo se estudió el contexto general y particular del proyecto recurriendo a fuentes de información mixtas: primarias y secundarias.

El estudio comprendió trabajo de gabinete para el análisis de documentos y trabajo de campo para la toma de muestras, mediciones y la realización de entrevistas no estructuradas:

#### 1. Fuentes primarias.

- a) **Entrevistas telefónicas y videollamadas** regulares para incorporar los intereses y perspectivas específicas de miembros de La Comunidad sobre el proyecto. En este sentido se mantuvo reuniones telefónicas con el Lonco de La Comunidad (Modesto Huenchucoy) y con integrantes de la familia Anquileo, principalmente Walter Bustamante y Herman Anquileo. De igual manera se tuvo contacto con el profesor Carlos Contreras Painemal del Programa de Pueblos Indígenas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, por su conocimiento general del mundo mapuche y particular de La Comunidad.

b) **Visitas en terreno** realizadas por 10 días en el mes de noviembre donde se recopiló información de los lugares en que se instalarían los equipos, se tomaron medidas de los caudales y muestras de las aguas grises y se pudo observar la forma en que se desarrolla la vida dentro de La Comunidad.

a) Fuentes secundarias.

- 1) **Revisión bibliográfica** centrada principalmente en revistas especializadas, manuales, reglamentos nacionales e internacionales y experiencias comparadas. Con esto se definió el diseño final del sistema, así como los parámetros necesarios a controlar.
- 2) **Análisis de datos** de CENSO 2017, procesados con Python y analizados con Microsoft Excel, con el fin de aportar una mirada general de las condiciones de vida de los miembros de La Comunidad.

En base a la **revisión y análisis de fuentes**, y a las bases de diseño, se define un sistema que se adecue al caso particular de La Familia.

Posteriormente se **dimensionan los equipos y estanques** necesarios de acuerdo con los modelos y parámetros obtenidos de la revisión y análisis de fuentes.

### 3.3. Toma de muestras

Las muestras de aguas grises fueron recogidas del lavaplatos y la ducha, ya que en estas fuentes es esperable que se obtengan los niveles más altos de  $DBO_5$ , SST y coliformes fecales.

En el caso del lavaplatos, este descarga sus aguas directamente en el suelo a las afueras de la casa, tal y como se observa en la Figura 3.1. El procedimiento de toma de muestras es el siguiente:



Figura 3.1: Zona de descarga de lavaplatos. Encerrado en rojo zona en que cañería descarga los efluentes.

1. Al momento de tomar la muestra, se esperan 5 segundos desde que se observa que empieza a salir agua por el extremo de la cañería antes de poner un bidón de 5[L] en el extremo de la tubería para recolectar la muestra.
2. Llenado el bidón, este es agitado buscando generar una mezcla con sus compuestos lo más homogéneamente distribuidos. Posteriormente se llena una botella de 1[L] con la mezcla, la cual es cerrada y almacenada en un recipiente opaco con hielo.

Las muestras son tomadas los días 26, 27 y 28 de noviembre, siendo analizadas en el laboratorio de la planta de tratamiento de riles de

la empresa CCU® ubicada en la comuna de Quilicura, utilizando un colorímetro DR-900 de HACH®, facilitado por Jorge Miranda Bernal, el día 29 de noviembre.

Cada día se toman dos muestras: una asociada al lavado de loza correspondiente al almuerzo (alrededor de las 13:30 Hrs.) y otra asociada al lavado de loza correspondiente a la cena (alrededor de las 19:00 Hrs.)



Figura 3.2: Equipo DR-900, junto a las muestras analizadas.

El día 28 de noviembre se toma una muestra adicional de agua gris proveniente del lavaplatos y otra de la ducha. Esta última se recolecta en un recipiente plástico en el que se baña una persona. Esta agua es posteriormente agitada para generar una mezcla lo más homogénea posible, para luego ser almacenada en una botella de 1[L], la cual fue analizada igualmente en el laboratorio de la planta de tratamiento de riles de CCU®, para determinar el nivel de  $DQO$ ,  $SST$ , nitrógeno total Kjeldahl (NKT, el cual considera el nitrógeno orgánico y el amoniacal), fósforo total ( $P_{Total}$ ) y  $PO_4^{3-}$ .

Adicionalmente, la muestra tomada desde el lavaplatos el día 29 de noviembre es analizada por el laboratorio ANAM S.A. Análisis Ambientales, donde se midieron la concentración de coliformes totales, nitrato ( $NO_3$ ), nitrito ( $NO_2$ ), NkT, tensoactivos (SAAM),  $DBO_5$ ,  $DQO$ , nitrógeno amoniacal ( $NH_4^+$ ), nitrógeno total (NT) y  $P_{Total}$ .

# Capítulo 4

## Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son agrupados en cuatro categorías, de acuerdo con la dimensión del problema que permiten analizar. De esta manera se presentan resultados que permite caracterizar el contexto socio económico en que se desarrolló el proyecto, caracterizar los flujos que ingresan a El Sistema, definir el requerimiento de agua de riego para el invernadero de La Familia y seleccionar los equipos que componen El Sistema.

### 4.1. Caracterización del contexto socio económico

A continuación se presenta la información recabada en el CENSO del año 2017, procesados con Python y analizados con Microsoft Excel, y que corresponde a los hogares pertenecientes a las 81 familias que se registran como parte de la comunidad indígena, previo a la división que dio origen a la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla.

En términos generales, se observa una población de 238 personas compuesta por 81 hogares en que un 44% son familias de 1 o 2 integrantes, con un promedio de 59 años. En términos totales, el promedio de edad de los jefes de hogar es de 57 años, lo que coincide con la información recabada mediante entrevistas, que señalaba la ocurrencia de un proceso de envejecimiento de La Comunidad. En cuanto a la composición por sexo se tiene que un 30% de los hogares son conducidos por mujeres cuya edad promedio es 54 años.

En la Tabla 4.1 se resume la información correspondiente al tipo de muro con el que están construidas las casas.

Tabla 4.1: Tipo de muro del hogar.

Muros	
Albañilería: bloque cemento, piedra, ladrillo	2,5 %
Hormigón armado	1,2 %
Materiales precarios: cartón, metal, plástico	3,7 %
Tabique forrado o madera	74,1 %
Tabique sin forro	18,5 %

Estos resultados muestran que sólo un 3,7% de los hogares registrados cuenta con construcciones de albañilería u hormigón armado, mientras que un 93% están contruidos con materiales más livianos como tabiquería o madera, que ofrecen menor aislamiento. Esto se suma a que muchas obras son realizadas por los mismos miembros de La Comunidad que no cuentan con los medios necesarios para asegurar una óptima construcción.

En la Tabla 4.2 se resume la información correspondiente al origen del agua para el uso doméstico del hogar.

Tabla 4.2: Origen del agua para el uso doméstico.

Origen del agua	
Pozo o noria	84,0 %
Red pública	2,5 %
Camión aljibe	12,3 %
Río o vertiente	1,2 %

Estos resultados exponen una amplia predominancia del agua proveniente de pozos o norias para el uso en los hogares de la comunidad (84%), que en conjunto con quienes se abastecen a través de camiones aljibe o directamente de ríos y vertientes configuran un escenario de cerca de un 97% de hogares que no cuenta con acceso a la red pública de agua potable, lo que los hace más vulnerables ante el riesgo de sequías. Durante las jornadas de trabajo fue posible ver que existían medidores de agua instalados en algunas propiedades, pero al consultar por esto, los miembros de La Familia nos mencionaron que está proyectado que La Comunidad esté conectada a la red pública de agua potable, pero que hasta el momento no existía claridad de cuando ocurriría esto.

En la Tabla 4.3 se resume la información correspondiente al tipo de ingresos percibido o trabajo realizado por el jefe o jefa de hogar durante la semana previa a la encuesta.

Tabla 4.3: Trabajo realizado por el jefe o jefa de hogar.

Trabajo durante semana anterior	
Jubilado, pensionado o rentista	11,1 %
Por un pago en dinero o especies	39,5 %
Realizó quehaceres de su hogar	35,8 %
Se encontraba buscando empleo	6,2 %
Sin pago para un familiar	7,4 %

Estos resultados exponen que cerca de un 40% de los jefes o jefas de hogar realizó trabajos remunerados, mientras que un 49% no percibió ingresos ya que realizó actividades no remuneradas o se encuentra buscando empleo.

Se destaca el 35,8 % de jefes o jefas de hogar que realizaron quehaceres en su hogar ya que, según lo observado en terreno, la gran mayoría de hogares desarrolla algún tipo de actividad agropecuaria, por lo que las labores asociadas a esta actividad están incluidas en esta categoría.

De igual manera resulta relevante el 11 % de personas que recibe pensiones o jubilaciones, que podría estar relacionado con la presencia de adultos mayores la cual, según comentarios de los comuneros y miembros del Programa de Pueblos Indígenas, iría aumentando con el tiempo por la salida de los miembros más jóvenes de la comunidad hacia centros urbanos más desarrollados o con una mejor oferta laboral.

En la Tabla 4.4 se resume la información correspondiente al nivel de estudios máximo alcanzado por los jefes o jefas de hogar y el porcentaje de ellos que finaliza dicho nivel.

Tabla 4.4: % de personas por nivel máximo de estudio y % de personas que termina cada nivel.

	% de la población que alcanza el nivel de estudio.	% de personas que finaliza el nivel de estudio.
Básica	58,0 %	25,5 %
Primaria (antigua)	11,1 %	33,3 %
Especial	1,2 %	100,0 %
Media Científico humanista	12,3 %	40,0 %
Media técnico	6,2 %	80,0 %
Profesional	2,5 %	100,0 %
Nunca asistió	8,6 %	-

Estos resultados exponen que cerca de un 69 % de los encuestados posee un nivel de estudios de nivel básico, con un alto número de ellos que no termina el nivel. Esto, sumado al 8,6 % de los encuestados que declara nunca haber asistido a una institución educacional, configura una población en que predomina un nivel educacional bajo.

En términos globales, la información presente en las Tablas 4.1 y 4.2, en conjunto con aquella recabada durante las jornadas de trabajo en terreno, permiten identificar un sector muy mayoritario de La Comunidad que cuenta con infraestructura deficiente en dimensiones significativas como son el hogar y el abastecimiento de agua para el uso doméstico, matizado en parte por el proyecto que considera conectar a las familias de La Comunidad con la red pública de agua potable. Este último cobra mayor relevancia si se consideran los comentarios de miembros de La Comunidad que apuntan al menor nivel de agua que tendrían los pozos durante los últimos años.

Por otro lado la información presentada en la Tabla 4.3 aporta a lo antes señalado, información relevante sobre los niveles de vulnerabilidad de los miembros de La Comunidad ante los riesgos derivados del Cambio Climático, en particular las sequías. En esta línea, los bajos niveles de educación presentes en la gran mayoría de los encuestados repercute en menos herramientas para abordar el problema del Cambio Climático y del desarrollo de mayores niveles de resiliencia.

El escenario laboral presente en La Comunidad es de alta complejidad ya que resulta de la mezcla de condiciones propias del trabajo en la región y las formas de producción y comercio propias de La Comunidad. Parte de esto se expresa en la Tabla 4.4, que refleja, a diferencia de las otras dimensiones analizadas, dos realidades predominantes: aquellos que realizan

trabajos remunerados, y quienes realizan quehaceres en su hogar que, como se menciona anteriormente, incluyen el desarrollo de actividades agropecuarias que producen alimentos consumidos por la misma familia y comercializados, principalmente, entre los integrantes de La Comunidad. Esto plantea un escenario de vulnerabilidad frente al Cambio Climático difícil de precisar ya que, por un lado, la generación autónoma de comida en La Comunidad por parte de las familias ofrece herramientas que aumenta sus niveles de resiliencia, en el sentido de poder resistir variaciones en la disponibilidad y precio de alimentos producto del Cambio Climático. No obstante, la producción agropecuaria desarrollada por las familias de La Comunidad depende en gran medida del agua disponible en los pozos y las fuentes asociadas a los ríos Boldo y Toltén, por lo que ésta se encuentra expuesta ante sequías que reduzcan el agua disponible para el riego de sus cultivos, el abastecimiento para los animales e incluso el consumo humano.

## 4.2. Caracterización de los flujos a tratar

A continuación se presentan los resultados de los análisis de laboratorio realizados a las muestras de aguas grises y el cálculo de caudales de agua gris y agua lluvia.

### 4.2.1. Resultados de análisis de muestras

Las aguas grises correspondientes a La Familia fueron caracterizadas mediante pruebas realizadas en el laboratorio de la planta de tratamiento de riles de la empresa CCU® ubicada en la comuna de Quilicura, utilizando un colorímetro DR-900 de HACH®, que fue facilitado por Jorge Miranda Bernal para los fines del presente trabajo. El resumen de los resultados se encuentra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Resultados de los análisis realizados en laboratorio de planta de tratamiento de riles, CCU.

Muestra	DQO mg/L	SST mg/L	NTK mg/L	P Total mg/L	$PO_4^{3-}$ mg/L
LP_A_1	164	70	7	2,871	8,7
LP_B_1	549	534	48	15,048	45,6
LP_A_2	1243	652	23	11,979	36,3
LP_B_2	1280	816	12	6,996	21,2
LP_A_3	1276	1356	113	47,19	143
LP_B_3	1497	1552	48	16,599	50,3
D_A_3	1253	178	-	-	-

LP: Lava platos  
 D: Ducha

\_A: Muestra de medio día  
 \_B: Muestra de tarde

\_1: Muestra tomada el 26-Nov  
 \_2: Muestra tomada el 27-Nov  
 \_3: Muestra tomada el 28-Nov

Los resultados expuestos en la Tabla 4.5 muestran una gran amplitud en todos los indicadores, con proporciones entre el valor menor:valor mayo de 1:9 para la DQO, 1:22 para los SST, 1:16 para el NKT,  $P_{Total}$  y  $PO_4^{3-}$ . Esto puede responder en parte a que, en sí, los

desechos vertidos por el lavaplatos son muy variados. Esto se refuerza por el abrupto aumento en la DQO y SST entre el día 26 y 27 de noviembre, ya que coincide con que el día 27 se realizó la faena de un animal del cual La Familia se hizo con un trozo de carne. Por esto, la corriente de salida del lavaplatos incluía restos de carne y grasa producidos al “limpiar” este trozo de carne. Algo similar ocurre el día 28 de noviembre, en que se observó una mayor turbiedad del efluente debido a que la loza se encontraba más sucia que el primer día.

Tanto los valores para la DQO como para los SST muestran regularidad en cuanto presentar valores menores en las mediciones realizadas a medio día que aquellas realizadas en la parte final del día. Esto coincide con que aquellas comidas que requieren mayor preparación, y por ende generan mayor cantidad de desechos, se concentran en la parte media y final del día (almuerzo y cena) y con que existen artículos de cocina que se lavan en la parte final del día, después de ser utilizados a lo largo de éste.

Una diferencia más evidente es observable al comparar los resultados de la DQO y los SST a través del tiempo. En este sentido se observa que aquellas muestras con mayor antigüedad presentan menores valores. Esto se encuentra dentro de lo esperable ya que en la medida que pasa el tiempo los distintos compuestos químicos presentes en la muestra se oxidan generando que la DQO baje. Algo similar ocurre con los SST, cuyo valor baja debido a la decantación, flotación y degradación de las partículas en suspensión.

En cuanto a los resultados NTK,  $P_{Total}$  y  $PO_4^{3-}$  no es posible sacar conclusiones ya que no se aprecia un patrón o relación que sugiera algún comportamiento inusual. No obstante, su presencia en las aguas grises permite que esta realice una función de fertilización al ser utilizada para el riego.

Los análisis realizados a la muestra de agua proveniente de la ducha exponen resultados que presenta un bajo nivel de SST y una DQO relativamente alta, aunque similar a los valores obtenidos en las muestras provenientes del lavaplatos.

Adicionalmente se analizó por parte del laboratorio ANAM S.A. una muestra de agua recolectada desde la salida del lavaplatos de La Familia el día 28 de noviembre a las 18 Hrs. Esto con el fin de contrastar y complementar los análisis realizados en el laboratorio de CCU® , especialmente con el análisis de coliformes totales.

El resumen de los resultados obtenidos se encuentra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Resultados de los análisis realizados en laboratorio ANAM S.A. Análisis Ambientales.

Componente	Unidad	Resultados
Coliformes totales	NMP/100mL	$2,20 * 10^5$
Nitrato (NO3)	mg/L	<0,203
Tensoactivos (SAAM)	mg/L	0,49
$DBO_5$	mg/L	2011
DQO	mg/L	4168
Nitrito (NO2)	mg/L	<0,039
Nitrógeno total Kjeldhal (NKT)	mg/L	46,80
Nitrógeno amoniacal (NH4+)	mg/L	5,93
Nitrógeno total (NT)	mg/L	46,80
Fósforo total (P)	mg/L	6,648

Los resultados expuestos en la Tabla 4.6 resultan más confiables ya que fueron realizados

por personal especializado sobre una muestra tomada 1,5 días antes de ser analizada, a diferencia de los análisis realizados en el laboratorio de CCU®, las cuales realicé sobre muestras que, en el peor caso, tenían una antigüedad de más de 3 días. De todas maneras la muestra analizada en ANAM tenía un día y medio de antigüedad, por lo que las mediciones de DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes totales puede haberse visto alterada. Probablemente este es un factor determinante para explicar la gran diferencia que existe con los resultados obtenidos en el laboratorio de CCU, sobre todo con aquellas muestras más antiguas como LP\_A\_1 y LP\_A\_2. De esta manera, los análisis de calidad del agua muestran resultados dentro de los márgenes esperables según la bibliografía consultada, pero que constituyen uno de los puntos con mayor incertidumbre del presente estudio, siendo necesario proyectar análisis más precisos en próximas etapas del desarrollo del proyecto.

Estos resultados permiten establecer la presencia de concentraciones significativas de coliformes totales. Esta concentración se encuentra en el rango de lo registrado en el capítulo Marco teórico, que indica que es posible encontrar concentraciones de coliformes totales en lavamanos y duchas de entre 10<sup>4</sup> - 10<sup>6</sup> [UFC/100mL].

#### **4.2.2. Cálculo de caudales de aguas grises**

El volumen diario de aguas grises tratadas se estima según las definiciones presentes en el documento *Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile*. Para esto se considera el caso particular del hogar de La Familia, que es habitado por 3 personas. Adicionalmente se consideran 4 habitantes transitorios, para incorporar el efecto de eventuales visitas.

Los valores de cada parámetro, así como los aportes de cada equipo, se encuentran desglosados en el Anexo 6.9.

En el caso de la corriente proveniente de la ducha existen dificultades adicionales para intervenir la línea de descarga, previo a que esta se conecte con la línea de aguas negras, ya que no existen cañerías a la vista como es caso del lavaplatos, lavamanos y lavadora. Por esto se consideran los siguientes caudales diarios:

- Las aguas grises tratadas sin considerar el aporte de la ducha corresponde a 196[L/d]
- Las aguas grises tratadas, considerando el aporte de la ducha corresponde a 425[L/d]

#### **4.2.3. Cálculo de caudal de aguas lluvia**

A continuación se presenta la información necesaria para el cálculo del caudal de agua lluvia posible de recolectar en un año, o rendimiento anual de agua pluvial (LRA). En la Tabla 4.7 se presentan una serie de parámetros establecidos en el documento *Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile* del MINVU con los que se estima la cantidad de aguas lluvia posible de ser recolectada en un área determinada, a través de una metodología definida, que también será utilizada en este trabajo.

Tabla 4.7: Parámetros para el cálculo del rendimiento anual de agua pluvial (LRA).

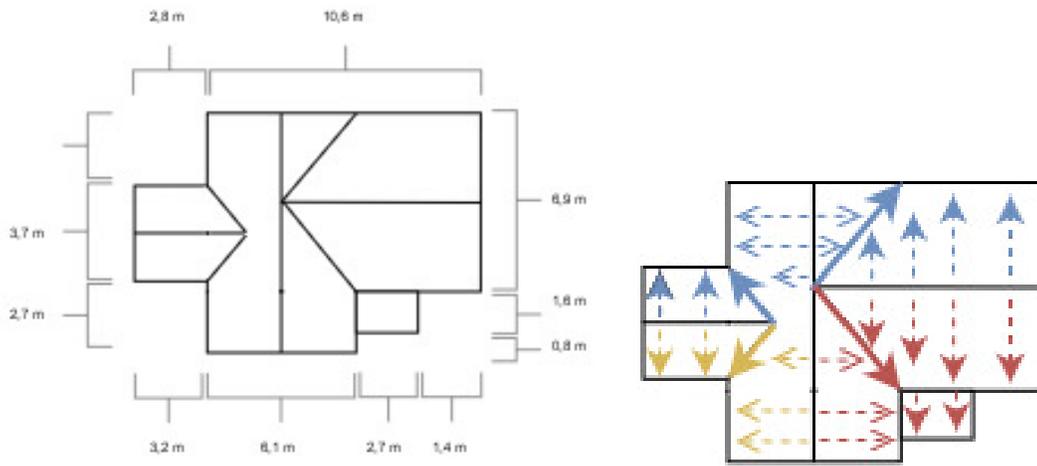
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Referencia
Coefficiente de rendimiento	$e_{techo}$	-	0,8	[41]
Precipitación anual (Promedio entre 2008 y 2018)	$Pa_{totten}$	mm	1157	[41]
Grado de efectividad filtrante	Nf	-	0,9	[41]

El LRA se calcula según la expresión:

$$LRA = e_{techo} \times Pa_{totten} \left[ \frac{mm}{d} \right] \times Nf \times A_{techo} [m^2] \quad (4.1)$$

$$LRA = 0,8 \times 1157 \left[ \frac{mm}{d} \right] \times 0,9 \times A_{techo} [m^2]$$

La superficie del techo del hogar de La Familia ha sido dividida en 3 zonas, las cuales, debido a la forma y dirección de las caídas de aguas, resultan más fáciles de agrupar y recolectar, tal y como se puede ver en las siguientes imágenes. Fotografías de las distintas vistas de la casa de La Familia pueden ser consultadas en el Anexo 6.10.



(a) Dimensiones del techo de la casa (vista superior).

(b) Dirección de las caídas de agua del techo de la casa de La Familia, dividido en 3 zonas según facilidad para recolectar las aguas lluvia (vista superior).

Con esta información se calculan las áreas y los correspondientes LRA

- Azul :  $54,3 [m^2] \rightarrow LRA_{Azul} = 45,240 [m^3/a]$
- Amarillo :  $18,6 [m^2] \rightarrow LRA_{Amarillo} = 15,488 [m^3/a]$
- Rojo :  $47,3 [m^2] \rightarrow LRA_{Rojo} = 39,383 [m^3/a]$

De poder aprovecharse la totalidad de la superficie del techo de la casa para recolectar el agua lluvia, el LRA sería:

$$LRA_{total} = 100110 [L]$$

### 4.3. Requerimientos de agua para el riego del invernadero

A continuación se presentan los resultados de la proyección de agua requerida por el invernadero de La Familia, cuyas dimensiones son 3[m] de ancho y 4 [m] de largo (ver Figura 4.1). Para estimar el volumen de agua requerido para el riego de esta superficie, se supone que estará plantado únicamente con papas, el cual es, de hecho, uno de los cultivos que mantienen. Para esto se seguirán la metodología descrita en el texto *Requerimientos hídricos y manejo del riego en el cultivo de papas* [42].



Figura 4.1: Área aproximada en que se emplazara el invernadero de La Familia.

Para esto se establecen los siguientes parámetros.

Tabla 4.8: Parámetros para el cálculo requerimiento de agua en cultivo de papas. [42]

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Referencia
Evapotranspiración del cultivo de referencia	$ET_0$	mm/d	5	[43]
Coefficiente de cultivo	$k_{cultivo}$	-	1,15	[42]
Factor de cobertura por sombra	$F_c$	-	0,8	[42]
Espaciado entre hileras	$E_h$	m	0,75	[42]
Largo de hilera	$L_h$	m	4	Largo de invernadero
Eficiencia de riego con manguera	$eff_{manguera}$	-	0,5	[41]
Eficiencia de riego con goteo	$eff_{goteo}$	-	0,9	[41]

En primer lugar, se calcula la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ). Esto considera la evaporación de agua desde el suelo, de la superficie de las plantas y la transpiración desde las hojas de las plantas, por lo que representa una estimación del agua necesaria para el correcto desarrollo de un cultivo. Se define la  $ET_c$  en base a una evapotranspiración de referencia y un coeficiente específico de la especie cultivada según la siguiente expresión.

$$ET_c = ET_0 \left[ \frac{mm}{d} \right] \times k_{cultivo} \quad (4.2)$$

$$ET_c = 5 \left[ \frac{mm}{d} \right] \times 1,15$$

$$ET_c = 5,75\left[\frac{mm}{d}\right]$$

En segundo lugar, se calcula el área de riego de cada línea de cultivo ( $A_{riego}$ ). Para esto se considera la longitud de las hileras, que corresponde al largo del invernadero de La Familia, multiplicado por el espacio entre hileras.

$$A_{riego} = Eh[m] \times Lh[m] \quad (4.3)$$

$$A_{riego} = 0,75[m] \times 4[m]$$

$$A_{riego} = 3[m^2]$$

Finalmente, para determinar el volumen de riego por línea de cultivo ( $V_{riego \times línea}$ ) se utiliza la siguiente relación entre el área de riego y la evapotranspiración del cultivo:

$$V_{riego \times línea} = A_{riego}[m^2] \times Etc\left[\frac{mm}{d}\right] \quad (4.4)$$

$$V_{riego \times línea} = 3[m^2] \times 5,75\left[\frac{mm}{d}\right]$$

$$V_{riego \times línea} = 17,25[L/d]$$

Si se considera que el invernadero es de 3 metros de ancho, se tiene que cabrán 4 líneas, con lo que el volumen total de riego será:

$$V_{riego} = V_{riego \times línea}[L/d] \times n_{líneas}^o$$

$$V_{riego} = 17,25[L/d] \times 4$$

$$V_{riego} = 69[L/d]$$

Con:

$V_{riego}$ : Volumen de agua requerido por las 4 hileras de cultivo.

Dependiendo del sistema de riego que se utilice se tendrán distintas eficiencias de riego que repercute en el volumen de agua que efectivamente sería necesaria para cumplir con los requerimientos de riego del cultivo, lo que puede ser definido según la siguiente expresión:

$$V = \frac{V_{riego}[L/d]}{Eficiencia\ del\ sistema\ de\ riego} \quad (4.5)$$

De esta manera se tendrá que los volúmenes de agua necesario para el riego del cultivo antes descrito, con sistema de goteo (mayor eficiencia) y sistema de riego con manguera (menor eficiencia) serán:

$$\rightarrow V_{goteo} = 69 [L/d]/0,9 = 77 [L/d] = 28,1[m^3/a]$$

$$\rightarrow V_{manguera} = 69 [L]/0,5 = 138 [L/d] = 50,4[m^3/a]$$

Con:

- $V_{goteo}$ : Volumen requerido para el riego diario del invernadero, utilizando riego por goteo.
- $V_{manguera}$ : Volumen requerido para el riego diario del invernadero, utilizando riego con manguera.

## 4.4. Selección de equipos

La selección de los equipos se realizó en consideración de las bases de diseño, los resultados de los análisis realizados a las muestras de agua gris, y a la revisión bibliográfica de experiencias similares.

En la Figura 4.2 se resumen las principales etapas de El Sistema, junto con su función en el tratamiento de las aguas grises de La Familia. Este considera un tratamiento primario que permita separar aquellas partículas de mayor tamaño provenientes del lavaplatos, además de retener grasas y aceites; un tratamiento secundario que reduzca los niveles de  $DBO_5$ , SST y turbiedad hasta los permitidos por la normativa; y una etapa de desinfección que reduzca la presencia de patógenos en las aguas grises tratadas.

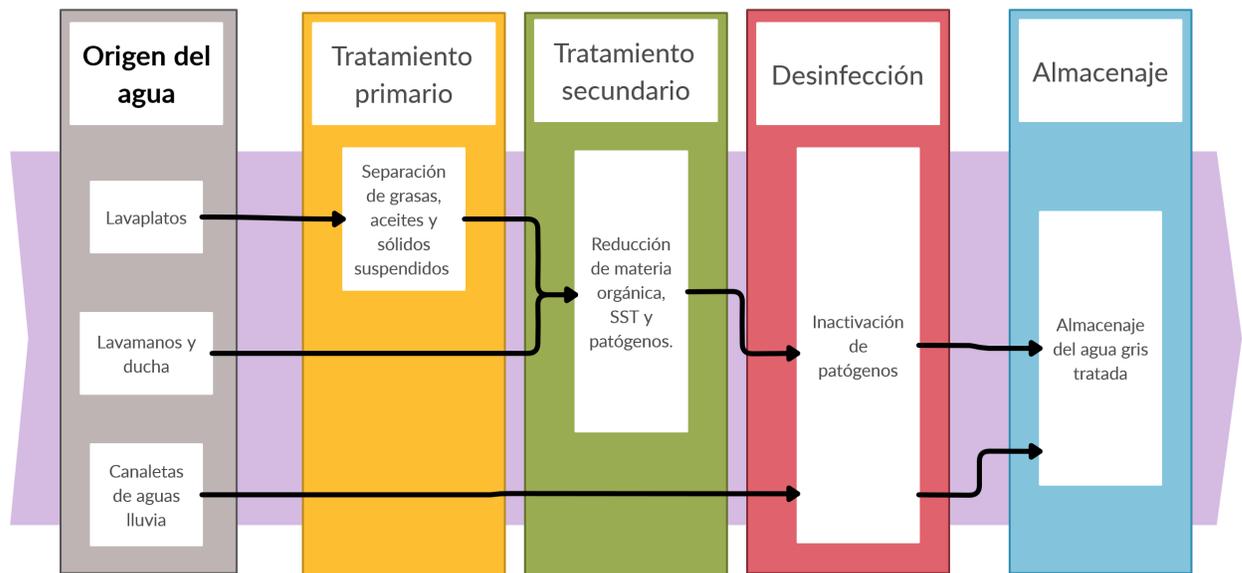


Figura 4.2: Resumen de procesos de El Sistema.

En base a la información recabada se definen los siguientes equipos en cada etapa del sistema de tratamiento de aguas grises.

### 1. Tratamiento primario: Trampa de grasa.

Esta etapa se caracteriza por retirar aquellos contaminantes que puedan ser separados por medios físicos, ya sea a través de filtración o por diferencia de densidad en trampas de grasa.

Se selecciona la trampa de grasa en consideración de los siguientes aspectos:

- Cumple de mejor manera la base de diseño que narra sobre la simplicidad de la operación del equipo, ya que los filtros tienen el inconveniente de tener que ser regularmente mantenidos ya sea para limpiar o reemplazar el medio filtrante. Por otro lado, la trampa de grasa y aceite es de más sencilla operación, debiendo ser vaciado su contenido con cierta periodicidad asociada a la cantidad de residuos almacenados o el surgimiento de malos olores.

- Cumple de mejor manera la base de diseño que narra sobre la utilización de tecnologías económicas, ya que prácticamente no requiere que se incurra en costos de operación, como si lo requieren los filtros, ya sea para recambiar o limpiar el relleno.
- La trampa de grasas permite eliminar, además de sólidos suspendidos que por su diferencia de densidad terminan decantando o refltando, líquidos como el aceite de cocina que por su menor densidad flota. Debido a que las plantas son sensibles a la presencia de aceite en el agua de riego, este factor toma mayor relevancia ya que se vincula directamente con el fin último del agua tratada y con la selección de un humedal artificial como tratamiento secundario.
- Las experiencias en que se utilizan filtro corresponden a casos en que el contenido de sólidos es relativamente pequeño como el caso de las escuelas El Palqui y Lucila Godoy Alcayaga el agua provenía de lavamanos los que poseen un bajo nivel de SST.

Considerando que las muestras analizadas reflejan niveles altos de SST se favorece la implementación de una trampa de grasa y aceite.

Tabla 4.9: Resumen de selección de equipos: tratamiento primario.

Tratamiento Primario		
Criterio	Trampa de Grasa	Filtro
Base de diseño: Considerar la perspectiva de la comunidad	-	-
Base de diseño: Diseño y operación simples	✓	
Base de diseño: Bajos costos de implementación y operación	✓	
Base de diseño: El Sistema con proyección de ser replicable	✓	✓
Base de diseño: Calidad de agua tratada suficiente para uso en riego	✓	✓
OTROS: Contaminantes retirados	Permite retirar aceites por diferencia de densidad	-
OTROS: Experiencia de uso	-	Utilizados en casos con bajo contenido de sólidos

Nota:

✓: Cumplimiento del Criterio

-: No aplica la evaluación del parámetro

El dimensionamiento de la trampa de grasas se basa en garantizar un volumen del equipo

( $V_{TG}$ ) tal que este garantice un tiempo de retención hidráulico (TRH) suficiente como para permitir la separación de las fases.

En segundo lugar, se determinan la superficie del equipo con tal que la velocidad ascendente permita que los contaminantes floten por sobre el nivel de la salida del equipo, antes de recorrer la distancia entre la entrada y este punto. Para esto se utiliza la relación:

$$As_{TG} = \frac{Q_1 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\nu \left[ \frac{m}{s} \right]} \quad (4.6)$$

Con:

- $As_{TG}$ : área superficial de la trampa de grasa [ $m^2$ ].
- $Q_1$ : caudal de entrada al equipo [ $\frac{m^3}{s}$ ].
- $\nu$ : velocidad ascendente mínima [ $\frac{m}{s}$ ].

El diseño general del equipo a construir corresponde al presentado en la Figura 4.3

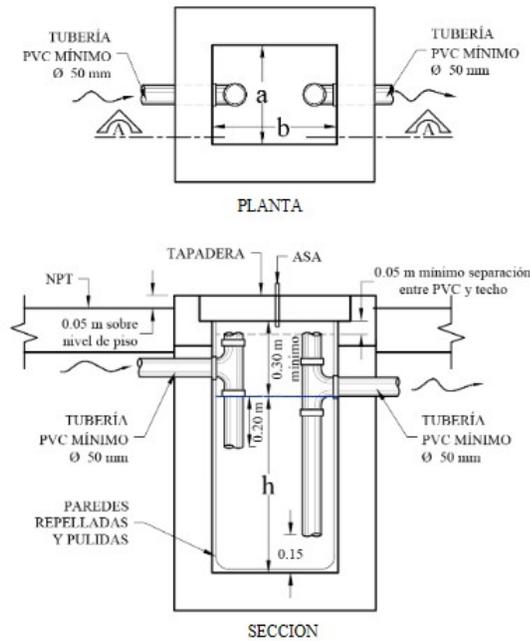


Figura 4.3: Diseño general de trampa de grasa.[44]

## 2. Tratamiento secundario: Humedal artificial de flujo horizontal, subsuperficial.

Esta etapa se caracteriza por generar una reducción importante de la  $DBO_5$  y nutrientes presentes en el agua, además de una mayor reducción de los SST, grasas y aceites que hayan podido superar el tratamiento primario.

Se selecciona el humedal artificial en consideración de los siguientes aspectos:

- Cumple de mejor manera la base de diseño que narra sobre la perspectiva de la comunidad, la cual valora positivamente el utilizar los elementos del entorno para el desarrollo de los procesos de manera armónica con el ambiente.

- Cumple de mejor manera la base de diseño que narra sobre la simplicidad de la operación. A diferencia de un sistema de lodos activados, un humedal artificial solo requiere labores de mantención limitadas a la limpieza del lecho cada 10 - 15 años, el recambio de las macrófitas que puedan haber muerto y la revisión del desgaste u obstrucciones en las entradas y salidas del equipo. Además, los humedales artificiales no requieren de fuentes externas de energía.
- Cumple de mejor manera la base de diseño que narra sobre la utilización de tecnologías económicas, ya que para su construcción solo requiere una capa de polímero que permita aislar de manera segura el agua gris del suelo, piedras de distinto tamaño para la construcción del lecho (con tamaño efectivo  $D_{10}$  entre 2 [mm] (arenas graduadas) - 128 [mm] (rocas pequeñas), plantas acuáticas que pueden ser obtenidas en la misma comunidad e insumos de gasfitería. Además, este equipo no incurre en costos de operación.
- La bibliografía consultada coincide en que los humedales artificiales reducen los coliformes presentes en el agua, lo que resulta beneficioso ya que este es uno de los contaminares más relevantes debido a sus implicancias para la salud de las personas si se proyecta el uso de esta agua en el riego de plantas comestibles.
- Los humedales artificiales suelen ser más eficientes en la reducción de la materia orgánica que de los nutrientes, lo cual resulta positivo para el sistema ya que los nutrientes podrán ser aprovechados por las plantas que se desean regar.
- Los humedales subsuperficiales se caracterizan por ser poco sensibles a los cambios de temperatura en cuanto a la reducción de la  $DBO_5$  en relación a otras opciones de humedales artificiales, por lo que tiene desempeños similares en temporadas frías o calurosas. Esto es relevante ya que la variación de la temperatura entre los meses de verano e invierno en Nueva Toltén pueden alcanzar los 15 [°C] [45]

Tabla 4.10: Resumen de selección de equipos: tratamiento secundario.

Tratamiento Secundario		
Criterio	Humedal artificial	Lodos activados
Base de diseño: Considerar la perspectiva de la comunidad	✓	
Base de diseño: Diseño y operación simples	✓	
Base de diseño: Bajos costos de implementación y operación	✓	
Base de diseño: El Sistema con proyección de ser replicable	✓	
Base de diseño: Calidad de agua tratada suficiente para uso en riego	✓	✓
OTROS: Menor reducción de nutrientes	Menor reducción de nutrientes	-
OTROS: Control de la temperatura	Baja sensibilidad a cambios de temperatura	-

Nota:

✓: Cumplimiento del parámetro

-: No aplica la evaluación del parámetro

Tanto la clasificación general de los humedales artificiales como el modelo que se sigue para el dimensionamiento de este se extraen del documento *Constructed Wetlands Manual* del Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (UNHABITAT, por sus siglas en inglés) [45].

Existen distintos tipos de humedales artificiales que se diferencian principalmente en la forma en que el flujo de agua pasa por el equipo. La clasificación típica se presenta en la Figura 4.4

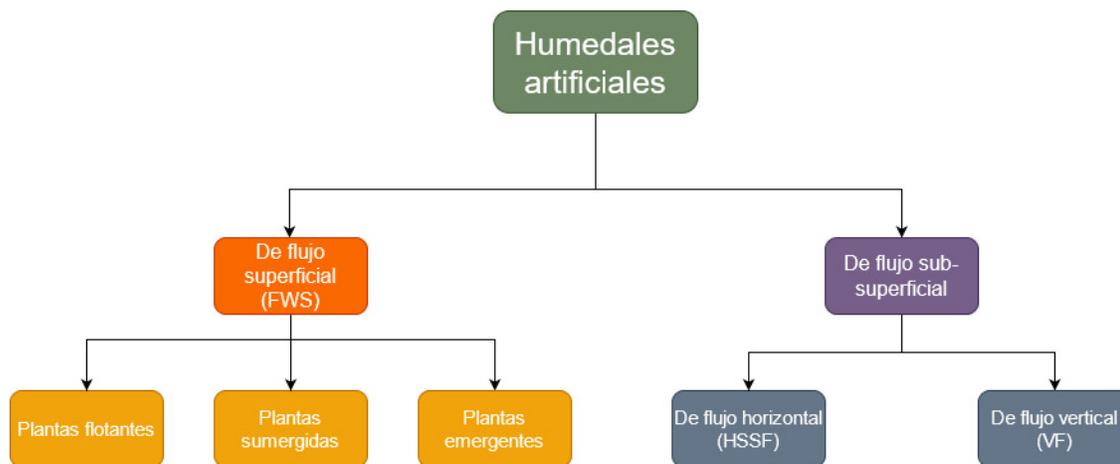


Figura 4.4: Clasificación de humedales artificiales .[46]

Los FWS se asemejan a los humedales reales en el sentido de mantener el nivel del agua por sobre el nivel del suelo. A su vez estos humedales artificiales pueden incorporar tanto plantas flotantes, sumergidas o emergentes y se caracterizan por requerir mayores superficies para tratar las aguas. Suelen ser más efectivos en la remoción de nutrientes por lo que son utilizados generalmente como tratamiento terciario.

Por otro lado, los humedales artificiales de flujo subsuperficial tienen configuraciones que permiten que el agua pase a través de un lecho sólido en que diversos fenómenos físicos, químicos y bioquímicos permiten el tratamiento del agua. Estos equipos requieren de superficies menores a las de los FWS, debido a que se favorecen procesos bioquímicos y físicos que se dan en las interfases que se forman entre líquido (agua a tratar) y sólido (relleno del humedal) o entre la fase líquida, sólida y gaseosa (aire). Por su mayor eficiencia estos humedales son utilizados en el tratamiento secundario de aguas.

Por otro lado, estos humedales requieren que el agua a tratar pase primero por un tratamiento primario, para evitar obstrucciones en las entradas o en el relleno del mismo (*clogging*), y tienen la desventaja frente a los FWS de ser menos flexibles en las plantas que puede utilizar, ya que se restringe a macrófitas emergentes.

En particular los HSSF son humedales artificiales en que el agua viaja horizontalmente a través de un lecho de arena o grava. Estos están diseñados para que el nivel del agua dentro del equipo se mantenga bajo el nivel del relleno.

En el caso de los VF el agua es cargada de manera intermitente sobre la superficie del humedal, y se filtra verticalmente a través del lecho, hasta llegar a un colector que se encuentra en la parte inferior de equipo.

Los fenómenos que intervienen en el proceso de tratamiento de las aguas en un humedal artificial son altamente complejos ya que involucran fenómenos físicos y procesos que involucran la acción de microorganismos y las macrófitas presentes en el humedal. A continuación, se resumen los principales contaminantes removidos en los humedales artificiales y los mecanismos involucrados.

Tabla 4.11: Principales mecanismos de tratamiento de las aguas en un humedal artificial.

Parámetro	Mecanismo de remoción
Sólidos suspendidos	Sedimentación y filtración
Materia orgánica	Sedimentación y filtración de material orgánico particulado y degradación biológica aeróbica y anaeróbica del material orgánico disuelto.
Nitrógeno	Amonificación y posterior nitrificación y desnitrificación, que permiten la transformación de las especies nitrogenadas, que pueden ser retirado gracias a la acción de las plantas que lo incorporan como nutriente, o por su volatilización. Anexo 6.11
Fósforo	Reacciones de absorción-precipitación motivadas por las propiedades del medio y la incorporación como nutriente a las macrófitas
Patógenos	Sedimentación, filtración, extinción natural y depredación llevada a cabo por protozoos y metazoos

Para definir qué tipo de humedal subsuperficial debe construirse se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Los VF requieren de una menor área superficial en comparación con los HSSF.[46]
- Los VF son sistemas que tienen mayores niveles de aireación. Esto genera que sean más eficientes en la reducción de nitrógenos totales.[46]
- Los HSSF son sistemas más resistentes ante los cambios de temperatura. [45]
- Debido a que en los HSSF se generan zonas anaeróbicas, se ve favorecida la degradación de  $DBO_5$ . También tienen eficiencias muy altas de reducción de SST, que incluso superan a la de degradación de  $DBO_5$ , razón por la cual estos equipos suelen ser dimensionados según los requerimientos de calidad de  $DBO_5$ . [46]

Tabla 4.12: Resumen de selección: humedal artificial.

Humedal artificial		
Criterio	HSSF	VF
Menor superficie necesaria		✓
Mayor reducción de nutrientes		✓
Mayor reducción de $DBO_5$	✓	
Mayor resistencia a cambios de temperatura	✓	

Nota:

✓: Cumplimiento del parámetro

-: No aplica la evaluación del parámetro

Tomando en consideración estos elementos se define la construcción de un HSSF, debido a que estos son más eficientes en la remoción de  $DBO_5$  y SST, los cuales son dos de los principales indicadores de calidad del agua tratada. Por otro lado, los VF son más eficientes en la reducción de nitrógenos totales, lo que es un efecto adverso para el proyecto, ya que es deseable que los nutrientes sean aprovechados prioritariamente por las plantas en el invernadero.

Por otro lado, el hecho de que los VF ocupen una menor superficie que los HSSF, aunque relevante, pierde valor en el contexto de La Familia, ya que poseen grandes extensiones de terreno. Por otro lado, la mayor robustez de los HSSF ante los cambios de temperatura resulta en una valiosa característica en contextos en que existe una gran diferencia entre las temperaturas promedio durante los meses de verano y los meses de invierno.

En cuanto al dimensionamiento de los HSSF este es modelado, según la hipótesis general asumida por la literatura revisada, como un reactor de flujo pistón en que los contaminantes se degradan siguiendo cinéticas de 1° orden. Este modelo para el dimensionamiento de HSSF sigue los procedimientos y supuestos expuesto en el documento *Constructed Wetlands Manual* de United Nations Human Settlements Programme [45]. No obstante, este marco teórico es compartido por distintos manuales sobre el tema en que, en términos generales, se desarrolla un dimensionamiento en base a la reducción de  $DBO_5$  con el que se determina la superficie del equipo, para posteriormente realizar un dimensionamiento hidráulico con el que se determina el largo y alto del equipo, tomando en cuenta parámetros específicos de los HSSF y del relleno. .[46] [47][48][49]

En primer lugar se expresa el balance de masa para la  $DBO_5$ , el cual queda descrito por la expresión:

$$\frac{dDBO_5}{dt} = -k_{HA} \times dDBO_5 \quad (4.7)$$

Con:

- $dDBO_5$ : valor de la  $DBO_5$  [mg/L]

- $k_{HA}$ : Constante cinética de primer orden [1/d]

Integrando entre  $DBO_5$  ( $t=0$ ) y  $DBO_5$  ( $t=t_{HA}$ ) se obtiene:

$$\frac{dDBO_5 \text{ } t=t_{HA}}{dDBO_5 \text{ } t=0} = (-k_{HA} \times t_{HA}) \quad (4.8)$$

Por otro lado, el volumen del equipo se puede expresar en función de los parámetros del humedal de la siguiente forma:

$$V_{HA} = \epsilon \times S_{HA} \times h_{HA} \quad (4.9)$$

Con:

- $V_{HA}$ : volumen del humedal artificial.
- $\epsilon$ : porosidad del medio
- $S_{HA}$ : superficie del humedal artificial.
- $h_{HA}$ : altura del humedal artificial

El tiempo de residencia en un equipo puede expresarse como la relación entre el volumen y los caudales de entrada y salida de este. Si reemplazamos el volumen del equipo por la expresión anterior se tendrá que:

$$t_{HA} = \frac{\epsilon \times S_{HA} \times h_{HA}}{Q_5} \quad (4.10)$$

Si se reemplaza esta expresión de  $t_{HA}$  en la expresión (4.8) y se considera la constante artificial  $k_A = k_{HA} \times \epsilon \times h_{HA} = 0,198[m/d]$  se tendrá la expresión para la superficie del HSSF, que corresponde a:

$$S_{HA} = \frac{Q_5}{k_A} \times Ln\left(\frac{C_{DBO5,5}}{C_{DBO5,6}}\right) \quad (4.11)$$

Para el cálculo del ancho del humedal ( $B_{HA}$ ) se determina en primer lugar el área de la sección transversal ( $A_c$ ) de la siguiente manera:

$$A_c = \frac{Q_5}{k_s \times s} \quad (4.12)$$

Asumiendo que esta es el área de un rectángulo e imponiendo un volar de máximo 0,7 [m] para la altura del humedal se puede calcular el ancho del equipo con la expresión:

$$B_{HA} = \frac{A_c}{h_{HA}}$$

Finalmente, es posible determinar el largo del humedal con la expresión:

$$S_{HA} = B_{HA} \times L_{HA} \quad (4.13)$$

De esta manera quedan todas las dimensiones del HSSF definidas.

En cuanto al diseño particular del humedal, se seguirá una estructura similar a la presente en la Figura 4.5 y la Figura 4.6

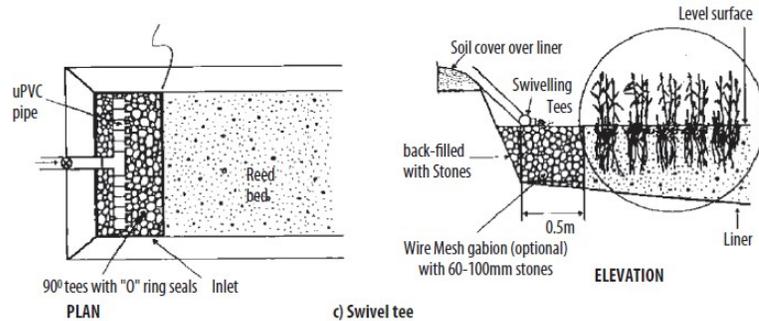


Figura 4.5: Diseño de humedal artificial tipo HSSF: Entrada al equipo.[23]

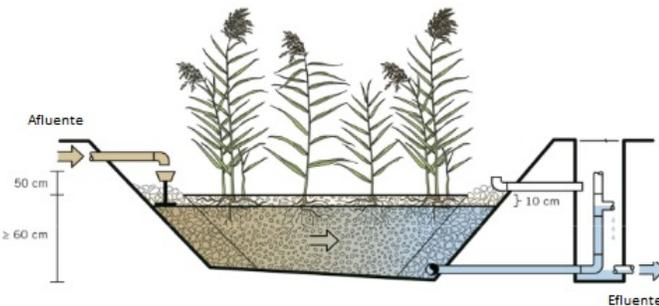


Figura 4.6: Diseño de humedal artificial tipo HSSF: Vista lateral.[48]

### 3. Desinfección: Ionizador.

Esta etapa busca que los patógenos presentes en el agua gris sean inactivados.

El método más conocido y utilizado en la desinfección del agua es la de adicionar algún producto como hipoclorito de sodio, con el fin de obtener una concentración de cloro residual que permita asegurar la desinfección del agua. Pese a que estos productos pueden ser comprados para su uso doméstico, se optó por opciones que requieren un menor nivel de operación, en pos de una mayor simplicidad del sistema.

Esta mayor simplicidad se puede lograr con sistemas de desinfección con UV o por medio de un ionizador, los que en términos generales requieren de una fuente de energía y el recambio ya sea de la fuente de luz UV o de los iones.

Se selecciona el ionizador en consideración de los siguientes aspectos:

- Se considera que la tecnología de ionizadores es de más fácil acceso ya que estos pueden ser adquiridos en tiendas del rubro del mantenimiento de piscinas, donde se comercializan para la desinfección de estas. Estos equipos, al funcionar con la energía solar que captan a través de los paneles solares que tiene incorporado, poseen la ventaja de solo requerir del recambio de un electrodo de cobre 1 o 2 veces al año, los cuales pueden ser adquiridos en las mismas tiendas por precios cercanos a los \$25.000, sin necesidad de otras fuentes de energía ni insumos.[50]

- Cumple de mejor manera la base de diseño que narra sobre la simplicidad del sistema, al no requerir de una intervención continua, más allá de los correspondientes cambios de electrodo.



Figura 4.7: Ejemplo de Ionizador

Estos equipos, aparte de producir la inactivación de bacterias, previene de la proliferación de algas y virus en volúmenes de hasta  $80[m^3]$ , reduciendo hasta un 90 % en el cloro requerido para la desinfección de piscinas hasta un 99,97 % .[51]

De esta manera, el sistema propuesto queda definido según lo expuesto en la Figura 4.8 y la Tabla 4.13

Tabla 4.13: Corrientes y composiciones consideradas para el diseño de El Sistema.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Origen	Lavaplatos	Trampa de grasa	Lavamanos	Lavadora	Ducha	E1	HSSF	E2	Canaletas
-	-	-	-	-	-	-	-	-	aguas lluvia
Destino	Trampa de grasa	E1	E1	E1	E1	HSSF	E2	E4	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	E3
Caudal (Q) <sup>(1)</sup>	0,00015 <sup>(2)</sup>	0,00015	0,00015 <sup>(2)</sup>	- <sup>(5)</sup>	0,00016 <sup>(2)</sup>	0,00012 <sup>(6)</sup>	0,00012	0,0005 <sup>(7)</sup>	15,5 - 100,1 <sup>(8)(9)</sup>
$[m^3/s]$									$[m^3/año]$
Calidad	3000	3000 <sup>(3)</sup>	3000 <sup>(4)</sup>	3000 <sup>(4)</sup>	3000 <sup>(4)</sup>	3000 <sup>(3)</sup>	10	10	<10 <sup>(9)</sup>
$DBO_5$									
$[mg/L]$									
SST	1600	1600 <sup>3</sup>	1600 <sup>(4)</sup>	1600 <sup>(4)</sup>	1600 <sup>(4)</sup>	1600 <sup>(3)</sup>	<10	<10	<10 <sup>(9)</sup>
$[mg/L]$									
CF	$2,2 * 10^5$	$2,2 * 10^{5(3)}$	$2,2 * 10^{5(4)}$	$2,2 * 10^{5(4)}$	$2,2 * 10^{5(4)}$	$2,2 * 10^{5(3)}$	$2,2 * 10^5$	6600	<10 <sup>(9)</sup>
$[NMP/100mL]$									
Corriente	10	11	12	13	14	15	16	17	
Origen	E3	E4	E4	Lavaplatos	Lavamanos	Lavadora	Ducha	E1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Destino	E4	E5	Sistema de riego	Desagüe	Desagüe	Desagüe	Desagüe	Desagüe	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Caudal (Q)	0,0005 <sup>(7)</sup>	SR <sup>(10)</sup>	SR <sup>(10)</sup>	0 - 0,00015	0 - 0,00015	- <sup>(5)</sup>	0,00016	0 - 0,00012	
$[m^3/s]$									
Calidad	<10	10	10	3000	3000	3000	3000	3000	
$DBO_5$									
$[mg/L]$									
SST	<10	<10	<10	1600	1600	1600	1600	1600	
$[mg/L]$									
CF	<10	6600	6600	$2,2 * 10^5$	$2,2 * 10^5$	$2,2 * 10^5$	$2,2 * 10^5$	$2,2 * 10^5$	
$[NMP/100mL]$									

(1) Se considerarán los caudales máximos. Esto implica que el caudal de las corrientes que resultan de la unión de 2 o más líneas será igual a la suma de los dos caudales unidos.

(2) Anexo 6.9.

(3) Para el dimensionamiento de El Sistema no se consideran reducciones de los indicadores de calidad, con el fin de sobre estimar las dimensiones del HSSF.

(4) Se asume misma concentración que en Corriente 1.

(5) El volumen de agua gris proveniente de la lavadora es de  $0.065 [m^3/ciclo]$ . El caudal específico dependerá de la bomba de desagüe de la lavadora, pero no se considera ya que E1 se diseña para modular este caudal a  $0.00012 [m^3/s]$

(6) Impuesto por diseño de E1.

(7) Dependerá de la bomba utilizada [52]

(8) El caudal de aguas lluvia se estima entre 15,5 - 100,1  $[m^3/año]$ , dependiendo de la superficie del techo de la casa de La Familia utilizada para recolectarla.

(9) Sección: Caracterización general de aguas lluvia.

(10) SR: Según requerimientos.

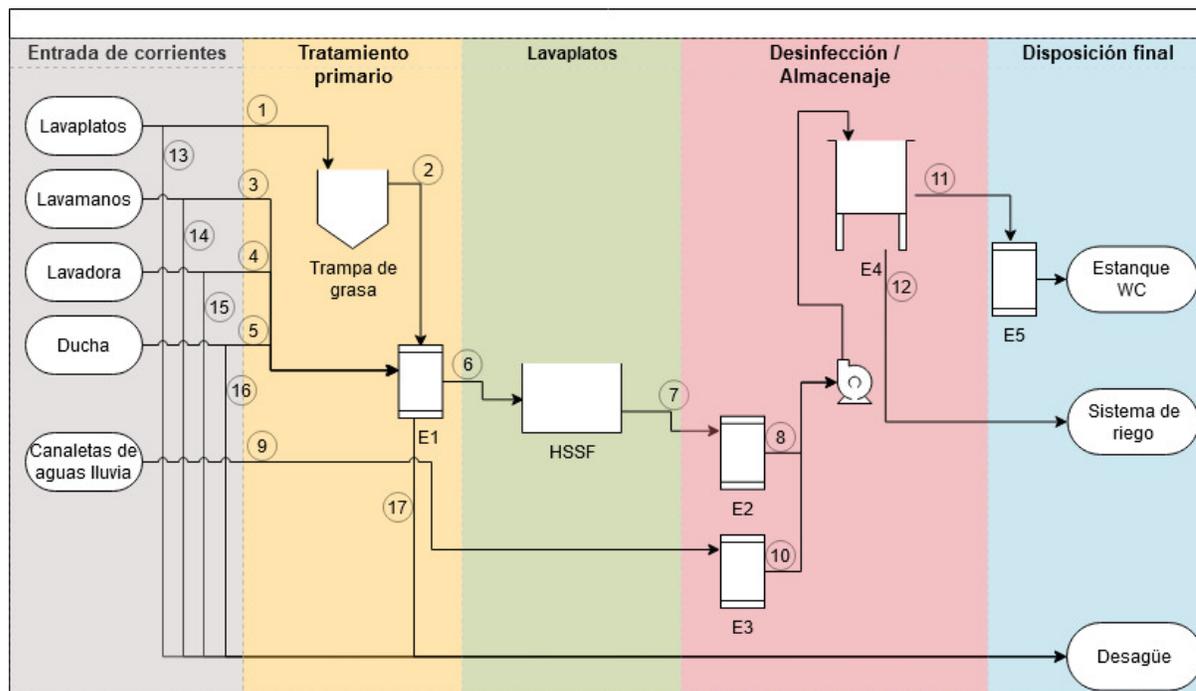


Figura 4.8: Diagrama de flujos de El Sistema.

En el diagrama de la Figura 4.8 se señalan las corrientes de entrada al sistema, tanto de aguas grises (corrientes 1, 3, 4, y 5) como de aguas lluvia (corriente 9), las líneas de seguridad que permiten conectar El Sistema con el desagüe de la casa (corrientes 13, 14, 15, 16 y 17), las líneas que conectan el estanque E4 con el lugar en que será utilizada el agua tratada (corrientes 11 y 12) y el resto de líneas que conectan los distintos equipos y estanques.

Como se señala anteriormente, la línea 5 proveniente de la ducha, no ha sido considerada para su implementación en una primera instancia debido a que la intervención de esta cañería tiene dificultades adicionales a los otros equipos de la casa, ya que a diferencia de los lavatorios y lavadora, esta no tiene cañerías a la vista que permitan su intervención.

En cuanto a la calidad del agua tratada se observa que se alcanzan los niveles requeridos por el proyecto de ley que busca definir las calidades de aguas grises tratadas según su uso. En cuanto a la  $DBO_5$  (límite=  $10[mg/L]$ ) esto se logra al imponer como condición de diseño del HSSF esta calidad de salida. De esta misma manera se alcanza los niveles de SST (límite=  $10[mg/L]$ ) en consideración de que los HSSF son más eficientes en la remoción de SST que de  $DBO_5$ .

Pese a que no se mide la turbiedad, es posible estimar que el agua tendrá apariencia cristalina posterior al tratamiento secundario, debido a la reducción de SST realizada en el tratamiento primario y secundario, con lo que se cumplirían con este criterio.

Por último, en cuanto al nivel de desinfección del agua tratada se toma en cuenta el límite establecido por la NCh N° 1333, ya que el proyecto de reglamento plantea el límite en [UFC/100mL], mientras que los resultados de los análisis de las muestras y la NCh N° 1333 lo hacen en [NMP/100mL]. Se observa que el equipo propuesto, aunque permite alcanzar una concentración de CF del mismo orden de magnitud que el límite establecido ( $1000 [NMP/100mL]$ ), este se encuentra cerca de 6 veces por sobre el límite. En este sentido se considera que este resultado permite asumir que este sería suficiente, ya que en esta reducción no se considera el efecto del tratamiento primario, el que puede generar reducciones de patógenos de entre 3 y 5 órdenes de magnitud de acuerdo a lo indicado en el Marco teórico [37] y porque

el desempeño del ionizador hacen referencia a la utilización de este en volúmenes mayores como los de las piscinas. Por otro lado, se observa que el indicador de cloro libre residual es una exigencia que restringe los mecanismos de desinfección por cloración. En caso de que esto se transforme efectivamente en una exigencia, puede ser fácilmente resuelto adicionando hipoclorito de sodio con tal de alcanzar los niveles mínimos de cloro en los estanques de almacenaje de agua tratada.

La definición de los volúmenes de los equipos (trampa de grasa y humedal artificial tipo HSSF) y estanques (E1-E5) se encuentran detallados en la siguiente sección.

## 4.5. Cálculo de volumen de equipos

A continuación, se presentan los dimensionamientos de los equipos seleccionados, según los modelos presentados en la sección Selección de equipos.

### 4.5.1. Equipos

#### 1. Trampa de grasa

Para el dimensionamiento de la trampa de grasa se consideraron los siguientes parámetros

Tabla 4.14: Parámetros para el dimensionamiento de la trampa de grasa.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades	Referencia
Caudal de entrada	$Q_1$	0,00015	$m^3/s$	Anexo 6.9
Tiempo de retención hidráulico	$TRH_{TG}$	180	s	[44]
Velocidad ascendente mínima	$\nu$	0,004	m/s	[44]

En primer lugar, se determina el volumen del equipo, el cual se modela según la siguiente expresión:

$$V_{TG} = Q_1 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \times TRH[s] \quad (4.14)$$

$$V_{TG} = 0,00015 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \times 180[s]$$

$$V_{TG} = 0,027[m^3]$$

Con:

- $V_{TG}$ : volumen útil de trampa de grasa cúbicos  $[m^3]$ .

El área superficial necesaria se calcula de la siguiente manera:

$$A_{sTG} = \frac{Q_1 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\nu \left[ \frac{m}{s} \right]} \quad (4.15)$$

$$As_{TG} = \frac{0,00015[\frac{m^3}{s}]}{0,004[\frac{m}{s}]}$$

$$As_{TG} = 0,0375[m^2]$$

Con:

- $As_{TG}$ : área superficial de la trampa de grasa [ $m^2$ ].

La bibliografía analizada sugiere que la relación entre el ancho ( $B_{TG}$ ) y largo ( $L_{TG}$ ) del equipo se encuentre de 1:2 a 1:4. En este caso se ha considerado una relación de  $B_{TG}:L_{TG}$  de 1:3. Para esto se estableció primero el  $B_{TG}$  de la siguiente manera:

$$B_{TG} = \sqrt[2]{\frac{As_{TG}[m^2]}{3}} \quad (4.16)$$

$$B_{TG} = \sqrt[2]{\frac{0,0375[m^2]}{3}}$$

$$B_{TG} = 0,1118[m] \Rightarrow L_{TG} = 0,3354[m]$$

Con:

- $B_{TG}$ : ancho de trampa de grasa [m].
- $L_{TG}$ : largo de trampa de grasa [m].

Con esta información es posible calcular el alto de la trampa de grasa ( $h_{TG}$ ) de la siguiente manera:

$$h_{TG} = V_{TG}[m^3]/As_{TG}[m^2] \quad (4.17)$$

$$h_{TG} = 0,024[m^3]/0,0375[m^2]$$

$$h_{TG} = 0,72[m]$$

Con:

- $h_{TG}$ : altura de la trampa de grasa [m].

Con el fin de cumplir con estas especificaciones, se propone que esta trampa de grasa se construya utilizando como estructura principal un barril de 60[L] como el que se ve en la siguiente Figura 4.10. Este barril tiene un diámetro de 0,402[m] y un alto de 0,620[m]. Para verificar las dimensiones correspondientes al largo y ancho de la trampa de grasa, se inscribe un rectángulo en una circunferencia de diámetro igual al diámetro del barril seleccionado y ancho igual a  $B_{TG}$  (ver Figura 4.9). De esta manera se tendrá que:

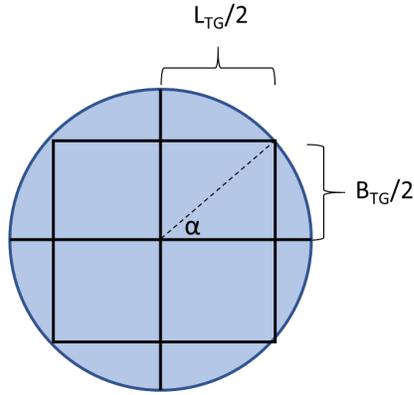


Figura 4.9: Rectángulo inscrito en circunferencia de diámetro igual a diámetro de barril seleccionado como trampa de grasa.

$$\alpha = \arccos(0,6/2) = 0,3[\text{rad}] \quad (4.18)$$

Con esto se puede determinar el largo real del equipo ( $L_{TG,real}$ ) con la siguiente relación:

$$\cos(0,3) = L_{TG,real}/2 \times 1/2 \quad (4.19)$$

Despejando el valor de  $L_{TG,real}$  se tendrá que:

$$L_{TG,real} = 3,8[m] \quad (4.20)$$

Con esto, las dimensiones reales y teóricas quedan resumidas en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15: Dimensiones teóricas y reales de la trampa de grasas.

Dimensión	Símbolo	Unidad	Valor teórico	Valor real	Diferencia
Volumen de trampa de grasa	$V_{TG}$	$m^3$	0,0270	0,0600	↑ 122 %
Área superficial	$A_{sTG}$	$m^2$	0,0375	0,1256	↑ 235 %
Ancho	$B_{TG}$	m	0,1118	0,1200	↑ 7 %
Largo	$L_{TG}$	m	0,3354	0,3800	↑ 13 %
Altura	$h_{TG}$	m	0,7200	0,6200	↓ 14 %

Se opta por este barril pese a que no cumple con las exigencias de altura debido a que se considera que esto se compensa principalmente con los aumentos en las dimensiones  $L_{TG}$  (7 %) y  $V_{TG}$  (122 %).



Figura 4.10: Barril de 60[L] para ser utilizado como trampa de grasa.

## 2. Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial.

Para el dimensionamiento del humedal artificial se consideraron los siguientes parámetros

Tabla 4.16: Parámetros para el dimensionamiento del humedal(HSSF).

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades	Referencia
Entrada a humedal	$Q_6$	0,12	L/s	Impuesto por diseño de mezclador
Concentración de DBO <sub>5</sub> a la entrada del HA	$DBO_{5\ 6}$	3000	mg/L	Datos
Concentración de DBO <sub>5</sub> a la salida del HA	$DBO_{5\ 7}$	10	mg/L	[14]
Altura	$h_{HA}$	0,6	m	[49]
Porosidad	$e$	0,4	-	[49]
Conductividad hidráulica del medio	$k_s$	1000	$m^3/m^2 * d$	[46]
Inclinación del suelo (dh/dL)	$^{\circ}s$	0,01	m/m	[49]

El primer paso es realizar el dimensionamiento biológico del equipo. Para esto se plantea la siguiente expresión cinética:

$$\frac{dDBO_5}{dt} = -k_{HA} \times dDBO_5 \quad (4.21)$$

Con:

- $DBO_5$ : valor de la  $DBO_5$  [mg/L]
- $k_{HA}$ : constante cinética de primer orden [1/d]

Si esta expresión se integra entre  $DBO_{5\ 6}$  ( $t=0$ ) y  $DBO_{5\ 7}$  ( $t=t_{HA}$ ) se obtiene:

$$\frac{DBO_{5\ 7}}{DBO_{5\ 6}} = (-k_{HA} \times t_{HA}) \quad (4.22)$$

Con:

- $t_{HA}$ : tiempo medio de retención hidráulica en HA

La constante cinética  $k_{HA}$  puede ser calculada en función de la temperatura de operación la que se estima en 15[°C], que corresponde a la temperatura promedio registrada

en Teodoro Schmidt, que cuenta con los registros de temperatura más cercanos a La Comunidad (estación DGA:09438001). Para esto se emplea la siguiente relación.

$$k_{HA,T} = k_{20} \times (1,06)^{(T-20)} \quad (4.23)$$

$$k_{HA,T} = 1,104\left[\frac{1}{d}\right] \times (1,06)^{(15-20)[^{\circ}C]}$$

$$k_{HA,T} = 0,825\left[\frac{1}{d}\right]$$

Por otro lado, el  $t_{HA}$  puede ser descrito por el flujo de entrada ( $Q_6$ ) y el volumen del equipo ( $V_{HA}$ ). A su vez, el volumen  $V_{HA}$  puede expresarse en función de parámetros del humedal de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_{HA} = \epsilon \times S_{HA} \times h_{HA} \quad (4.24)$$

Con:

- $V_{HA}$ : volumen del humedal artificial
- $\epsilon$ : porosidad del medio
- $S_{HA}$ : superficie del humedal artificial
- $h_{HA}$ : altura del humedal artificial

En consecuencia, el  $t_{HA}$  queda expresado como:

$$t_{HA} = \frac{\epsilon \times S_{HA} \times h_{HA}}{Q_6} \quad (4.25)$$

Si se reemplaza esta expresión de  $t_{HA}$  en la ecuación 4.22, y se considera la constante artificial  $k_A = k_{HA} \times \epsilon \times h_{HA} = 0,198[m/d]$ , se llega a la expresión:

$$\frac{DBO_{5\ 7}}{DBO_{5\ 6}} = \exp\left(\frac{-k_A \times S_{HA}}{Q_6}\right) \quad (4.26)$$

De la expresión anterior es posible despejar  $S_{HA}$ , la cual es calculada de la siguiente manera:

$$S_{HA} = \frac{Q_6}{k_A} \times \ln\left(\frac{DBO_{5\ 6}}{DBO_{5\ 7}}\right) \quad (4.27)$$

Esta superficie corresponde a un sistema que recibe de manera constante un flujo de  $0,12 [m^3/s]$  con las características antes indicadas. Para el caso analizado se puede concluir que según los datos del [41] este flujo se mantiene solo por un 2,9 % del día, por lo que se estima la superficie necesaria será:

$$S_{HA} = \frac{0,12\left[\frac{m^3}{s}\right]}{0,148\left[\frac{m}{s}\right]} \times \ln\left(\frac{3000}{10}\right) \times 0,029$$

$$S_{HA} = 8,4[m^2]$$

Para el cálculo del ancho del humedal ( $B_{HA}$ ) se determina en primer lugar el área de la sección transversal ( $A_c$ ) de acuerdo con la siguiente relación:

$$A_c = \frac{Q_5}{k_s \times \theta \times s} \quad (4.28)$$

$$A_c = \frac{0,00012[\frac{m^3}{s}]}{0,0116[\frac{m^3}{m^2 \cdot d}] \times 0,01[\frac{m}{m}]}$$

$$A_c = 1[m^2]$$

Asumiendo una cara rectangular se tendrá que:

$$B_{HA} = \frac{A_c}{h_{HA}} \quad (4.29)$$

$$B_{HA} = \frac{A_c}{h_{HA}} h$$

$$B_{HA} = \frac{1[m^2]}{0,6[m]} h$$

$$B_{HA} = 1,73[m]$$

Con esta información es posible determinar finalmente el largo del humedal:

$$S_{HA} = B_{HA} \times L_{HA} \quad (4.30)$$

$$L_{HA} = \frac{S_{HA}}{B_{HA}}$$

$$L_{HA} = \frac{8,4[m^2]}{1,73[m]}$$

$$L_{HA} = 4,84[m]$$

Estas dimensiones dan como resultado un equipo cuyo volumen total es de  $5,02[m^3]$ . De esta manera las dimensiones finales del humedal artificial tipo HSSF serán:

Tabla 4.17: Dimensiones teóricas de humedal artificial.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Superficie humedal artificial	$S_{HA}$	$m^2$	8,36
Área transversal	$A_{HA}$	$m^2$	1,04
Ancho	$B_{HA}$	m	1,73
Largo	$L_{HA}$	m	4,84
Alto	$h_{HA}$	m	0,60
Volumen total del equipo	$V_{HA}$	$m^3$	5,02

## 4.5.2. Estanques

### 1. E1: Cámara de mezcla.

Para establecer el volumen de la cámara de mezcla se tomó como referencia que este tuviera como mínimo la capacidad de la lavadora, que en este caso corresponde a 65 [L]. Se toma como referencia este volumen debido a que esta es la fuente más significativa de agua gris en cuanto a la cantidad de litros por uso, por lo que de esta manera se busca a la vez modular el caudal de esta fuente hacia el humedal artificial.

En consideración de lo anterior se define el uso de un estanque de 100 [L] [53], considerando una capacidad útil de 80 %.

### 2. E2: Almacenaje y desinfección aguas grises.

Para establecer el volumen del contenedor de aguas grises se toma en cuenta que, de acuerdo a lo establecido en el documento *Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile* del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile [41], el volumen de aguas grises generadas en un día es de 196 [L].

En consideración de lo anterior se opta por un contenedor de 230 [L][54], y una capacidad útil del 90 %, equivalente a 207 [L].

### 3. E3: Almacenaje y desinfección aguas lluvia.

Para establecer el volumen de almacenamiento de aguas pluviales, se considera que de acuerdo con los cálculos de los LRA realizados en la sección Cálculo de caudal de aguas lluvia, los volúmenes posibles de captar sobrepasan con creces las dimensiones del resto del proyecto. Por esto es que se define disponer de un contenedor de 1 [ $m^3$ ] de capacidad para utilizar como almacenaje y desinfección de aguas lluvia. Esto en consideración de que este fue donado para el proyecto, y no será necesario para otras etapas.

### 4. E4: Distribuidor.

Para establecer el volumen del distribuidor se tomó en cuenta los mismos argumentos descritos para el almacenaje y desinfección aguas grises, por lo que también se opta por un contenedor de 230 [L], con una capacidad útil del 90 %, quedando esta en 207 [L].

### 5. Distribuidor W.C.(E5)

Para establecer el tamaño de este estanque, se toma en cuenta que cada descarga del W.C. requiere de 9[L], según lo establecido en el documento *Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile* del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile [41].

Se define de manera arbitraria que este estanque tenga la capacidad de suministrar aproximadamente la mitad del agua requerida para un día, lo que equivale a 49,5 [L], para evitar que esta agua permanezca almacenada por periodos superiores a 1 día.

En consideración de que en el mercado es posible encontrar contenedores de 50[L] y 60[L], se opta por la opción más pequeña de 50[L][55] y una capacidad útil del 85 %, teniendo una capacidad útil equivalente a 42,5[L]

En la siguiente tabla se presentan a modo de resumen los volúmenes estimados y de los contenedores cotizados en cada caso.

Tabla 4.18: Resumen de valor de volumen teórico de de estanques y volumen de solución escogida.

Estanque	Unidades	Volumen estimado	Volumen contenedor propuesto	Volumen útil contenedor propuesto
Cámara de mezcla	L	65	100	80
Almacenaje y desinfección aguas grises	L	196	230	207
Almacenaje y desinfección aguas lluvia	L	863,5	1000	1000
Distribuidor	L	196	230	207
Distribuidor W.C.	L	49,5	50	42,5

## 4.6. Proyección de costos

Como se ha mencionado en las secciones anteriores, uno de los principales beneficios del sistema propuesto es que este no requiere de gastos de operación, más allá de los asociados a la bamba usada para elevar el agua tratada hasta el distribuidor.

Además, se considera que todo el trabajo necesario para la construcción e instalación de los equipos se realiza de manera voluntario.

### 4.6.1. CAPEX

A continuación se presenta la cotización de los equipos, con los cuales se realiza la proyección de los costos directos e indirectos.

Tabla 4.19: Costos de equipos.

Equipo	Detalle	Unidad	Dimensión teórica	Dimensión equipo	Costo unitario [\$]	Costo [\$]	Referencia
Trampa de grasa	Precio de barril	L	27	60	\$34.391/unidad	\$ 34.391	[56]
Humedal artificial	Precio relleno	L	5020	5020	\$10.500/m <sup>3</sup>	\$ 52.710	[57]
	Precio recubrimiento	m <sup>2</sup>	21,42	25	\$71.000/unidad	\$ 71.000	[58]
Cámara de mezcla	Precio de barril	L	65	100	\$28.990/unidad	\$ 28.990	[53]
Almacenaje y desinfección aguas grises	Precio de barril	L	196	230	\$41.500/unidad	\$ 41.500	[54]
Almacenaje y desinfección aguas lluvia	Precio de barril	L	863,5	1000	\$120.000/unidad	\$ 120.000	[59]
Distribuidor	Precio de barril	L	196	230	\$41.500/unidad	\$ 41.500	[54]
	Precio bomba	m		32	\$31.990/unidad	\$ 31.990	[60]
Distribuidor W.C.	Precio de barril	L	49,5	50	\$44.746/unidad	\$ 10.000	[55]
\$ 432.081							

La proyección de los costos directos e indirectos se realiza en base a la proyección de costos de los equipos presentada en la tabla anterior y según las indicaciones de la guía *Plant design and economics for chemical engineers*[63]. Debido a que existen criterios de costos directos e indirectos que no aplican para el proyecto, se consideran como nulos los siguientes:

- Los costos asociados a instrumentación y control son aquellos atribuibles a equipo auxiliar para controlar el sistema. Se asumen nulos, ya que el proyecto no considera mecanismos de control más allá de las válvulas que se encuentran incluidas en los costos de **pipng** y la bomba, que fue incluida dentro de los costos de equipos.
- Los costos de construcción son aquellos atribuibles a los insumos y construcción de edificaciones. Se consideran nulos ya que el proyecto no considera la construcción de estructuras más allá de los soportes y asentamientos de los contenedores y equipos.

- Los costos de instalación de servicios son aquellos atribuibles a la instalación de fuentes de agua, electricidad, combustible u otro servicio necesario. Se considera nulo, ya que el sistema no requiere de servicios distintos a los ya instalados en el hogar de La Familia.
- Los costos de terreno dependen del lugar en que se encuentre y pueden tener una gran variabilidad. Para el caso del proyecto, este considera una superficie total de cerca de 11 [m<sup>2</sup>], donde los más importantes son el humedal artificial (8,4 [m<sup>2</sup>]) y el IBC (1[m<sup>2</sup>]). Se consideran nulos, ya que este espacio sería donado por la familia para la construcción e instalación de los equipos.
- Los costos asociados a honorarios de contratistas se consideran nulos, ya que el trabajo necesario se realizará de manera voluntaria.

La justificación de los porcentajes definidos para cada criterio de costo se encuentra a continuación:

- Equipos (40 %):

Se considera que debido a que el proyecto no considera mayores obras que la conexión de los equipos, y que estas son en su mayoría semejables a obras de gaitería doméstica, es que se considera que el costo de los equipos representa un alto porcentaje de los costos del proyecto.

- Instalación de equipos (14 %):

Los costos de instalación de equipos corresponden a aquellos requeridos para la construcción de cimientos y soportes para los equipos. En el caso particular del proyecto estos corresponden a los lugares en que se asentarán los estanques, la canaleta de rebalse para el humedal artificial y las canaletas para la recolección de las aguas lluvia. Dentro de estos, el más importante es el soporte para el distribuidor ya que es el que requiere de mayor altura.

La familia cuenta actualmente con una torre de aproximadamente 2,5 [m] de alto, sobre la que se mantiene un estanque con el agua que es bombeada desde un pozo para ser utilizada posteriormente en el hogar. En conversación con la familia se propuso la construcción de una ampliación de esta torre o una segunda torre para soportar el distribuidor que, al igual que la ya construida, se pueda hacer con madera proveniente de los árboles de la comunidad lo que reduciría los costos de insumos en esta materia.

En este ítem se ha decidido incluir los costos de envío de los contenedores, por lo que se le atribuye un peso alto dentro de los costos del proyecto, principalmente por los costos de transporte de aquellos contenedores que exceden la capacidad de un vehículo particular, como es el caso del IBC.

- *Piping* (20 %):

Los costos de *piping* corresponden a la compra de tuberías e insumos relacionados con su conexión. Se le atribuye un peso alto debido a que la mayor cantidad de obras requerirán de la compra de insumos de gasfitería y tuberías para conectar los equipos y estanques.

- Instalación eléctrica (3 %)

Los costos de instalación eléctrica corresponden a la compra de luminaria, paneles eléctricos, tomas de corriente, extensiones de líneas, entre otros similares. Se le atribuye un

peso bajo debido a que la única etapa que requiere de una fuente externa de energía es la bomba, pero esta funcionará cerca de la torre donde opera actualmente una bomba similar que eleva agua desde un pozo hasta un contenedor en altura, por lo que es predecible que los costos en esta materia serán reducidos.

- Mejoras de terreno (4 %):

Los costos de mejoramiento del terreno corresponden a aquellos reflejados en la instalación de cercos, nivelación del suelo, construcción de caminos y otros similares. Se le atribuye un peso medio, el cual se ve reflejado en el costo de compra de material de estabilización y la construcción de cercas en torno al humedal artificial.

- Costos indirectos de construcción (4 %):

Los costos indirectos de construcción están asociados a la construcción o arriendo de estructuras o maquinaria de manera temporal. Se le atribuye un peso bajo ya que este ítem solo considera el costo de arriendo de maquinaria para el mejoramiento del terreno como por ejemplo una placa compactadora para preparar el terreno en que se construirá el humedal artificial.

- Contingencias (15 %):

A los gastos por contingencia se le atribuye un peso alto, debido al actual contexto de pandemia y al riesgo de factores no presupuestados derivados del relativo nivel de aislamiento de la comunidad (como un mayor costo de transporte de los contenedores).

- Costos de ingeniería y supervisión:

Los costos de ingeniería y supervisión son aquellos atribuibles al uso de softwares, dibujos computacionales, compras, contabilidad, viajes, comunicaciones y gastos de oficina en el hogar, además de los gastos generales.

Considerando que el proyecto contempla 2 visitas a la comunidad, una para recabar antecedentes y muestras del agua a tratar, y otra para construir el sistema, se estimó el costo de ingeniería y supervisión como el necesario para costear el combustible (\$240.000, considerando un rendimiento del automóvil de 10 [Km/L]) y los peajes (\$92.000) entre Santiago y la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla, lo que equivale a \$ 332.000.

Este costo se impone directamente y se extrae del análisis del resto de costos antes mencionados, debido a que este está fuertemente determinado por la distancia entre Santiago y la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla, y escapa a la lógica del documento citado que enfoca su análisis en proyectos de ingeniería de mayor escala. En este sentido se discute que la estimación realizada sobre el costo asociado al *piping* cuenta con los mayores niveles de incertidumbre ya que estas obras son semejantes a obras de gasfitería domiciliaria, lo que dista significativamente de lo que representa este ítem en proyecto de ingeniería de escala industrial.

En la siguiente tabla se resumen los costos del proyecto

Tabla 4.20: Costos directos e indirectos.

Costos directos	Rango %	%	Costo [CLP]
Equipos	15-40	40 %	\$ 312.081
Instalación de equipos	6-14	14 %	\$ 108.136
Mejoras de terreno	2-5	4 %	\$ 38.620
<i>Piping</i>	3-20	20 %	\$ 154.480
Instalación eléctricas	2-10	3 %	\$ 23.172
Construcciones	3-18	0 %	\$ -
Instrumentación y control	2-8	0 %	\$ -
Instalaciones de servicios	8-20	0 %	\$ -
Terreno	1-2	0 %	\$ -
Costos indirectos			
Gastos de construcción	4-16	4\$	% 15.448
Contingencias	5-15	15 %	\$ 115.860
Honorarios de contratistas	2-6	0 %	\$ -
Total pre costos de I y S.		100 %	\$ 772.400
Ingeniería y supervisión			\$ 332.000
<b>Total</b>			<b>\$ 1.104.400</b>

Estos costos, aunque relativamente bajos, implican una inversión importante para sectores con altos niveles pobreza, por lo que su implementación a mayor escala debiese considerar el financiamiento a través de aportes gubernamentales, como los entregados por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) dentro del Programa de Desarrollo de Inversiones[61] que podría cubrir hasta el 90 % del valor total bruto de la inversión, o donaciones de privados.

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

El PRI es un instrumento que indica el tiempo en el cual es posible recuperar la inversión de un proyecto, o en que se equilibran los costos con los beneficios. Ya que el sistema de tratamiento y aprovechamiento de aguas grises y aguas lluvia permite reducir el consumo de agua potable, este parámetro indica el tiempo en que los eventuales ahorros cubrirán el costo de la inversión inicial, trayendo sus valores a valor presente.

Para evaluar el ahorro en términos de consumo de agua potable se considera la tarifa de aguas Araucanía para Nueva Toltén, la que corresponde a un costo variable en hora punta de  $C_{variable} = \$552,92$  y la tarifa correspondiente al consumo energético de la bomba. Para estos cálculos no se considerará el costo fijo, ya que se asume que estos serán cancelados como parte de los gastos propios del hogar.

En cuanto al consumo eléctrico de la bomba se extraen los siguientes parámetros de la ficha técnica de la bomba cotizada[52]:

Tabla 4.21: Parámetros de la bomba.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal	$Q_{bomba}$	L/min	30
Altura	$h_{bomba}$	m	5
Costos variables	$C_{v,elect}$	\$/kWh	155,4
Potencia máxima (eficiencia energética = %66,44)	$P_{bomba}$	kW	0,557

Con estos parámetros, y considerando el volumen de agua generada en un mes ( $V_{max} = 12735[L]$ ) se calcula el tiempo de operación de la bomba ( $t_{bomba}$  de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_{bomba} : \frac{V_{max}}{Q_{bomba}} \quad (4.31)$$

$$t_{bomba} = \frac{12735[L]}{30[\frac{L}{min}] \times 60[\frac{min}{h}]}$$

$$t_{bomba} = 7,08[h]$$

Tomando como referencia la tarifa variable de la distribución de energía eléctrica en Temuco (realizada por la empresa CGE Distribución S.A.[62]) se extrae que los costos variables de la tarifa de electricidad equivalen a  $C_{v,elect} = 155,4[$/kWh]$ . Esto, en conjunto con el valor antes calculado de  $t_{bomba}$ , permite calcular el aumento en la tarifa de electricidad debido al funcionamiento de la bomba, siguiendo la expresión:

$$C_{eléctrico,mes} = P_{bomba} \times t_{bomba} \times C_{v,elect} \quad (4.32)$$

$$C_{eléctrico,mes} = 0,557[kW] \times 7,08[h] \times 155,4[$/kWh]$$

$$C_{eléctrico,mes} = 612[$/mes]$$

$$C_{eléctrico,año} = 7344[$/a]$$

En cuanto al volumen de agua que puede reducirse, se consideran los siguientes escenarios:

■ Escenario 1:

Aguas grises sin considerar las provenientes de la ducha (Corriente 5) → Volumen de ahorro  $V_{Es1} = 71,7[m^3/a]$

■ Escenario 2:

Todas las aguas grises → Volumen de ahorro  $V_{Es2} = 154,9[m^3/a]$

■ Escenario 3:

Aguas grises sin las provenientes de la ducha + Aguas lluvia → Volumen de ahorro  $V_{Es3} = 171,8[m^3/a]$

■ Escenario 4:

Todas las aguas grises + Aguas lluvia (E4) → Volumen de ahorro  $V_{Es4} = 255,0[m^3/a]$

La razón para evaluar casos en que no se consideran los flujos provenientes de la ducha es que estos, como se mencionaba en las secciones previas, son más difíciles de interceptar antes de juntarse con las aguas negras, como si es posible en el lavamanos, lavaplatos y lavadora.

A continuación se presentan los flujos neto (*ahorro en agua - costo de electricidad*) y el valor del VAN a 10 años considerando una tasa de retorno  $r = 0,12$  para los escenarios 1, 2, 3 y 4.

Tabla 4.22: Es1: Aguas grises sin considerar ducha.

Año	Flujo de efectivo
0	\$ -725.588
1	\$ 32.313
2	\$ 32.313
3	\$ 32.313
4	\$ 32.313
5	\$ 32.313
6	\$ 32.313
7	\$ 32.313
8	\$ 32.313
9	\$ 32.313
10	\$ 32.313

VAN	\$-543.014
-----	------------

Tabla 4.23: Es2: Totalidad de aguas grises.

Año	Flujo de efectivo
0	\$ -725.588
1	\$ 78.327
2	\$ 78.327
3	\$ 78.327
4	\$ 78.327
5	\$ 78.327
6	\$ 78.327
7	\$ 78.327
8	\$ 78.327
9	\$ 78.327
10	\$ 78.327

VAN	\$-283.024
-----	------------

Tabla 4.24: Es3: Aguas grises sin considerar ducha + Aguas lluvia.

Año	Flujo de efectivo
0	\$ -725.588
1	\$ 87.660
2	\$ 87.660
3	\$ 87.660
4	\$ 87.660
5	\$ 87.660
6	\$ 87.660
7	\$ 87.660
8	\$ 87.660
9	\$ 87.660
10	\$ 87.660

VAN	\$-230.289
-----	------------

Tabla 4.25: Es3: Totalidad de aguas grises + Aguas lluvia.

Año	Flujo de efectivo	Flujo de efectivo valor presente	Flujo de efectivo acumulado
0	\$ -725.588		
1	\$ 133.674	\$ 119.352	\$ 119.352
2	\$ 133.674	\$ 106.564	\$ 225.916
3	\$ 133.674	\$ 95.147	\$ 321.063
4	\$ 133.674	\$ 84.952	\$ 406.015
5	\$ 133.674	\$ 75.850	\$ 481.865
6	\$ 133.674	\$ 67.723	\$ 549.589
7	\$ 133.674	\$ 60.467	\$ 610.056
8	\$ 133.674	\$ 53.989	\$ 664.045
9	\$ 133.674	\$ 48.204	\$ 712.249
10	\$ 133.674	\$ 43.039	\$ 755.288

VAN	\$29.700
PRI [a]	9,0177

Ya que el último caso es el único que presenta VAN positivo en el plazo de 10 años, se procede a calcular el PRI, según la expresión:

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d} \quad (4.33)$$

con

a: año inmediato anterior en que se recupera la inversión

b: inversión inicial

c: flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión

d: flujo de efectivo del año en que se recupera la inversión

$$PRI = 9[a] + \frac{(725588-712249)}{755288}$$

$$PRI = 9,02[a]$$

Esto quiere decir que, en el caso en que se logra aprovechar el 100 % de las aguas grises y aguas lluvia, la inversión inicial (sin considerar los costos de ingeniería y supervisión) se recupera en prácticamente 9 años. No obstante, el proyecto de invernadero de La Familia requeriría aproximadamente 50 [m<sup>3</sup>], por lo que no existen dentro del contexto abordado por el proyecto la capacidad de utilizar los flujos previstos en el Es4. Excediendo los límites del proyecto, es posible estimar que el consumo podría aumentar al doble o triple si se considera regar una zona similar a la del invernadero, que también es utilizada actualmente por La Familia para cultivar vegetales.

En cuanto a la factibilidad económica del proyecto, no es posible concluir que este sea o no rentable en términos del retorno de la inversión. Esto debido a que los flujos de caja y el cálculo de indicadores como el VAN el PRI se construyen sin considerar el efecto económico del proyecto sobre los niveles de producción de alimentos de La Familia, ni valorando económicamente el aumento de los niveles de resiliencia ante la ocurrencia de sequías y cambio en los regímenes de precipitaciones. En este sentido es necesario realizar un estudio más detallado del impacto que este tipo de proyectos pueden tener en economías y contextos como el del presente trabajo de memoria.

Sin embargo, también es discutible el si las perspectivas e indicadores utilizados son capaces de incorporar los beneficios que se escapan de los óptimos económicos, pero que refieren a “óptimos” o “aspectos valiosos” para los miembros de La Comunidad. En este sentido, la valoración de la pertinencia cultural y el aporte que el proyecto puede significar en términos del fortalecimiento de las prácticas y formas de producción propias de La Comunidad, no están incorporados.

Por último, el proyecto de memoria cuenta con el apoyo financiero del Programa de Pueblos Indígenas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, quienes realizaron depósitos por un total de \$1.200.000, por lo que el proyecto de memoria, así como la construcción del sistema propuesto, es financiado íntegramente con estos aportes, manteniendo un margen de 8 % del presupuesto total, equivalente a \$95.600.

# Capítulo 5

## Conclusiones

En consideración de las características de los flujos de aguas grises y aguas lluvia a tratar, las exigencias de calidad y consideraciones sanitarias para su uso en el riego de vegetales, las bases de diseño y al análisis del contexto particular de La Familia y La Comunidad, es que se propone El Sistema para el tratamiento de aguas grises y aguas lluvia de La Familia, el que consta de tres etapas con las que se estima alcanzar los niveles de calidad establecido por el proyecto de reglamento sobre esta materia y el límite de CF establecido por la NCh N°1333, la cual aplica actualmente. Estas son: **tratamiento primario**, llevado a cabo en una trampa de grasas construida en base a un barril de 60[L]; **tratamiento secundario**, llevado a cabo en un humedal artificial de tipo HSSF cuya superficie ocupa un área de  $4,8[m] \times 1,7[m]$ ; **desinfección**, llevado a cabo principalmente por un ionizar solar con electrodo de cobre.

El flujo máximo a tratar por el sistema equivale a  $255 [m^3/a]$ , de los cuales  $155 [m^3/a]$  corresponden a aguas grises y  $100[m^3/a]$  a aguas lluvia. De los  $155[m^3/a]$  de aguas grises posibles de tratar, se considera factible recuperar en una primera etapa  $71,5 [m^3/a]$  (46 %) debido a la mayor dificultad que implica interceptar las aguas grises provenientes de la ducha previo a que estas se mezclen con las aguas negras. En el caso de las aguas lluvia se considera factible recuperar en una primera etapa  $45,2 [m^3/a]$  (45 %) debido a que este es el flujo que se estima puede captarse por la porción del techo de la casa de La Familia que mayor rendimiento tiene y que, a su vez, permite una fácil recolección a través de canaletas. De esta manera, el sistema a construir podrá tratar en primera instancia **116,7**  $[m^3/a]$ . Considerando que el consumo de agua proyectado para el invernadero de La Familia equivale a  $50,4 [m^3/a]$  se concluye que El Sistema produce agua en calidad y cantidad suficiente para ser cubrir las necesidades de riego del invernadero y surtir el llenado de la cisterna del inodoro de La Familia.

El hecho de que el agua gris tratada sea suficiente por si sola para cubrir los requerimientos del invernadero, permite que El Sistema proporcione cantidades suficientes de agua independiente de las aguas lluvia disponibles, lo que repercute en un **aumento de los niveles de resiliencia** de La Familia ante peligros derivados del Cambio Climático ya identificados en el sector, como son el aumento en las sequías y el cambio en el régimen de precipitaciones, en la medida que aumenta su capacidad de reducir los efectos negativos que estos tienen sobre el modo en que producen parte mayoritaria de sus alimentos y permite una mejor adaptación a las condiciones climáticas de las próximas décadas en que se prevé aumente el estrés hídrico en la región.

En cuanto a las motivaciones del proyecto, este aborda la idea de “utilidad” según la definición construida en la sección Motivación y definición de proyecto. En términos de **in-**

**corporar en el proyecto la perspectiva de la comunidad** es posible concluir que esta se expresa en las ideas de manejo y aprovechamiento de residuos domésticos como insumo de otras funciones del hogar, y de una producción orientada a la satisfacción de necesidades. Además, el diseño concreto de El Sistema incorpora elementos derivados de las preocupaciones y procesos propios de La Comunidad, desde la identificación del problema de falta de agua durante los meses de mayor sequía, la idea de incorporar las aguas lluvia a El Sistema y la utilización de un humedal artificial como equipo, lo que es coherente con la relación más armónica de los comuneros con su entorno y, en particular, con el humedal presente en La Comunidad. Por último, El Sistema considera en su diseño las condiciones socioeconómicas de La Comunidad, lo que se expresa en un diseño de relativo bajo costo de implementación si se toman en cuenta los aportes entregados por INDAP para este tipo de proyectos, equivalente a \$772.400, que no considera costos de operación ni requiere de operación ni supervisión constante. En este sentido, se cuenta con un sistema de baja complejidad cuya operación se asemeja al de otros equipos domésticos (bombas y válvulas). En total, el desarrollo del proyecto tuvo un costo de \$1.104.400, lo que incluye los costos de implementación y los costos de ingeniería y supervisión, estimados en \$332.000. Con esto, los costos del proyecto quedan completamente cubierto por el financiamiento de \$1.200.000 otorgado por el Programa de Pueblos Indígenas, Dirección de Diversidad y Género, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Entérminos de las exigencias legales establecidas por el proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas de aguas grises, el presente trabajo proporciona la información relacionada con los **volúmenes de aguas grises tratadas y utilizadas**, así como la **definición de los parámetros de control** de El Sistema, restando de esta manera la elaboración de la **memoria técnica y planos del diseño** de El Sistema en base al diagrama de flujos, bases de cálculo y criterios de diseño aportados en este trabajo, la elaboración de un **manual de operaciones** de El Sistema y la **copia del título profesional** del responsable del diseño del sistema de reutilización de aguas grises.

En cuanto a **abordar la problemática con perspectiva de política pública**, se concluye que el trabajo presenta información relevante en materia de enfrentamiento del Cambio Climático en contexto de comunidades mapuche, relacionada con el efecto del proyecto en los niveles de resiliencia de La Familia y, eventualmente, de La Comunidad, incorporando en el análisis distintas dimensiones de vulnerabilidad y elementos propios del territorio como son los aspectos culturales, y geográficos del sector.

En esta línea, se concluye que el proyecto es un aporte en los **niveles de autonomía** de La Comunidad, en el sentido de aumentar los niveles de resiliencia del sistema de producción autónoma de alimentos de La Familia, utilizando las aguas grises generadas por la misma familia.

Por último, se concluye en torno quienes podrían verse beneficiados por la implementación de este proyecto. En primer lugar, se encuentran las cerca de 80 familias mapuche que viven en la comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla o en la comunidad aledaña, quienes poseen condiciones socioeconómicas similares (de acuerdo con los datos expuestos del CENSO del año 2017) y comparten la pertenencia al pueblo mapuche y al territorio analizado. En un segundo nivel de análisis se puede considerar a las cerca de 370.000 personas de origen indígena que viven en la ruralidad en contextos de pobreza o pobreza extrema, como eventuales beneficiarios de un sistema como este, debido a la relación con la agricultura familiar campesina, su relativo bajo costo, la simplicidad de su operación y el aporte que significa en términos de resiliencia ante el Cambio Climático y seguridad alimentaria.

# Bibliografía

- [1] Ariel A. Muñoz, Karin Klock-Barría, Camila Alvarez-Garreton, Isabella Aguilera-Betti, Álvaro González-Reyes, José A. Lastra, . . . Carlos Le Quesne. (2020). Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management. *Water* (Basel), 12(3), 648.
- [2] Aqueduct. (2011 – 2019). Visible body: Aqueduct Water Risk Atlas. Recuperado de [https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas//?advanced=falsebasemap=hydroindicator=w\\_awr\\_def\\_tot\\_catlat=30lng=-80mapMode=viewmonth=1opacity=0.5ponderation=DEFpredefined=falseprojection=absolutescenario=optimisticscope=baselinetimeScale=annualyear=baselinezoom=3](https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas//?advanced=falsebasemap=hydroindicator=w_awr_def_tot_catlat=30lng=-80mapMode=viewmonth=1opacity=0.5ponderation=DEFpredefined=falseprojection=absolutescenario=optimisticscope=baselinetimeScale=annualyear=baselinezoom=3)
- [3] IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.
- [4] Departamento de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Ministerio del Medio Ambiente: Plan nacional de adaptación al cambio climático. Recuperado de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>
- [5] Denton, F., T.J. Wilbanks, A.C. Abeysinghe, I. Burton, Q. Gao, M.C. Lemos, T. Masui, K.L. O'Brien, and K. Warner, 2014: Climate-resilient pathways: adaptation, mitigation, and sustainable development. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1101-1131.
- [6] IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- [7] THE WORLD BANK. 2020. *Indigenous Peoples, Poverty and Development*. [en línea] <https://www.worldbank.org/en/topic/indigenouspeoples1> [consulta : 21 - 12 - 2020]

- [8] Gobierno de Chile. (2015). United Nations: Intended nationally determined contribution of Chile towards the climate agreement of Paris 2015. Recuperado de <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Chile/1/INDC%20Chile%20english%20version.pdf>
- [9] Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2017). Ministerio de Desarrollo Social: Resultados encuesta CASEN 2017. Pueblos Indígenas. Síntesis de resultados. Recuperado de [http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/docs/Casen\\_2017\\_Pueblos\\_Indigenas.pdf](http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/docs/Casen_2017_Pueblos_Indigenas.pdf)
- [10] María José Andrade. (2019). La lucha por el territorio mapuche en Chile: Una cuestión de pobreza y medio ambiente. *L'Ordinaire Des Amériques*, 225(225), *L'Ordinaire des Amériques*, 01 December 2019, Vol.225.
- [11] Waissbluth, Mario (2008). *Sistemas complejos y gestión pública*. Documentos de trabajo. Serie gestión. N°99
- [12] Barzelay, M. (1998): *Atravesando la Burocracia*, Cap. 8. El paradigma posburocrático en una perspectiva histórica, Pág. 173-196, Fondo de Cultura Económica, México.
- [13] World Health Organization. Regional Office for the Eastern Mediterranean. (2006). Overview of greywater management health considerations. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/116516>
- [14] Ministerio de Salud. (2018) Ministerio del Medio Ambiente: Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises. Recuperado de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Grisas.pdf>
- [15] Oteng-Peprah, Michael, Acheampong, Mike Agbesi, DeVries, Nanne K. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception-a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(8), 2-16.
- [16] Cruz, P. (2017) En la ruta hacia la regulación de aguas grises en Chile. *AIDIS*.(54), 8-11
- [17] Greywater Action. (2015). Greywater Action: Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior. Recuperado de <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>
- [18] Bertrand, Guillaume, Celle-Jeanton, Hélène, Laj, Paolo, Rangognio, Jérôme, Chazot, Gilles. (2008). Rainfall chemistry: Long range transport versus below cloud scavenging. A two-year study at an inland station (Opme, France). *Journal of Atmospheric Chemistry*, 60(3), 253-271.
- [19] Ley N°21075. REGULA LA RECOLECCIÓN, REUTILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE AGUAS GRISES. Diario Oficial de la República de Chile, 15 de febrero de 2018
- [20] Código Sanitario. Art. 7. 31 de enero de 1968.
- [21] NCh 1333. Diario Oficial de la República de Chile, Chile, 22 de mayo de 1987
- [22] Bruursema, T. (2011). The new NSF 350 and 350-1. *Plumbing Systems Design Magazine*.
- [23] United States. Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Management. Municipal Support Division, National Risk Management Research Laboratory (US). Technology Transfer, Support Division. (2004). Guidelines for water reuse. US Envi-

ronmental Protection Agency.

- [24] DoH, W. A. (2010). Code of practice for the reuse of greywater in Western Australia 2010. Department of health Western Australia, Perth, Western Australia, Australia.
- [25] Franco Alvarado, M., Hidalgo Tapia, F., Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Sancha Fernández, Ana María, Ahumada Theoduloz, Gerardo. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- [26] Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Ministerio del Medio Ambiente: En Monte Patria escuela El Palqui recicla aguas grises. Recuperado de <https://mma.gob.cl/en-monte-patria-escuela-el-palqui-recicla-aguas-grises/>
- [27] Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Ministerio del Medio Ambiente: Escuela Lucila Godoy Alcayaga desarrollará proyecto piloto de reutilización de aguas grises. Recuperado de <https://mma.gob.cl/escuela-lucila-godoy-alcayaga-desarrollara-proyecto-piloto-de-reutilizacion-de-aguas-grises/>
- [28] Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. (30 de mayo de 2014). Recursos Hídricos. Planta de Tratamiento de Aguas Grises. Recuperado de <http://ingenieria.uchile.cl/oficina-de-ingenieria-para-la-sustentabilidad/iniciativas/106695/recursos-hidricos>
- [29] Milesi, O (2019). IPS: Escuelas chilenas reciclan aguas grises para mitigar la sequía. Recuperado de <http://www.ipsnoticias.net/2019/05/escuelas-chilenas-reciclan-aguas-grises-mitigar-la-sequia>
- [30] Noticias UCN al día – Universidad Católica del Norte. 2018. Antofagastinas apuestan por recuperación de aguas grises « Noticias UCN al día – Universidad Católica del Norte. [online] Recuperado de <https://www.noticias.ucn.cl/destacado/antofagastinas-apuestan-por-recuperacion-de-aguas-grises/>>
- [31] USEPA, U. (2012). Guidelines for water reuse, 2012. EPA/600/R-12/618. USEPA and US Agency for International Development, Washington, DC.
- [32] Franco Alvarado, M., Hidalgo Tapia, F., Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Sancha Fernández, Ana María, Ahumada Theoduloz, Gerardo. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- [33] NEW SOUTH WALES DEPARTMENT OF HEALTH (NSW). 2000. Greywater Reuse in Sewered Single Domestic Premises. Australia. Recuperado de <https://www.health.nsw.gov.au/environment/domesticwastewater/Documents/greywater-reuse-policy.pdf>
- [34] Al-Batsh, N., Al-Khatib, I., Ghannam, S., Anayah, F., Jodeh, S., Hanbali, G., Khalaf, B., et al. (2019). Assessment of Rainwater Harvesting Systems in Poor Rural Communities: A Case Study from Yatta Area, Palestine. *Water*, 11(3), 585. MDPI AG. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3390/w11030585>
- [35] Abdul, A. J., Ussi, M. Rain Water Characterization at Urban and Rural (North B) Unguja.
- [36] Kus, B.; Kandasamy, Jaya; Vigneswaran, S.; Shon, H. K. (2010). Water quality characte-

- risation of rainwater in tanks at different times and locations. *Water Science Technology*, 61(2), 429-. doi:10.2166/wst.2010.824
- [37] NUÑEZ, Lidia, MOLINARI, Claudia, PAZ, Marta, TORNELLO, Carina, MANTOVANO, Julián, MORETTON, Juan. (2014). Análisis de riesgo sanitario en aguas grises de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(4), 341-350. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000400003&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000400003&lng=es).
- [38] Franco, V. (2005). Selección y aplicación del mejor método de desinfección para eliminar huevos de helmintos, amibas y bacterias patógenas en aguas residuales tratadas.
- [39] Guimarães, J. R., Ibáñez, J., Litter, M. I., Pizarro, R. (2001). Desinfección de agua. Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea, 1, 375-388.
- [40] Silva Ramirez, L. E., Costa Farfan, A. C. (2018). Aplicación de la ionización Cu-Ag para mejorar la calidad microbiológica del agua en las viviendas de la ciudad de Tumbes.
- [41] Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018) Ministerio de Vivienda y Urbanismo: Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile. Tomo III Agua. Recuperado de <https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/EST%C3%81NDARES-DE-CONSTRUCCI%C3%93N-SUSTENTABLE-PARA-VIVIENDAS-DE-CHILE-TOMO-III-AGUA.pdf>
- [42] Uribe, H. (2019). Requerimientos hidricos y manejo del riego en el cultivo de papas. *Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*.
- [43] Ministerio de Agricultura. Agrometeorología Red agrometeorológica de INIA. Recuperado de <https://agrometeorologia.cl/>
- [44] Ministerio de Salud. (2015) Propuesta de reglamento técnico salvadoreño para el diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para la zona rural. Recuperado de <https://www.paho.org/els/dmdocuments/BORRADOR%20TRATAMIENTO%20AGUAS%20RESIDUALES%20V-6.pdf>
- [45] Shrestha, R., Singh, S., Langergraber, G., Korkusuz, E. A. (2008). *Constructed Wetlands Manual*, United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT).
- [46] Kadlec, R. H., Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. CRC press.
- [47] Wallace, S. D., Knight, R. L. (2006). *Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems: Feasibility*. Foundation (WERF), Alexandria.
- [48] Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., Von Sperling, M. (2017). *Treatment wetlands*. IWA publishing.
- [49] García Serrano, J., Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*.
- [50] Perfect pool (s.f.). Electrodo de Cobre para Ionizador Solar. Recuperado de <https://www.perfectpool.cl/producto/electrodo-para-ionizador-solar/>
- [51] Perfect pool (s.f.). Ionizador solar Dunner. Recuperado de <https://www.perfectpool.cl/wp-content/uploads/2018/06/Ficha-Tecnica-Ionizador->

Solar.pdf

- [52] Humboldt pumps. Manual de instrucciones modelos XKM60-1 / XKM80-1. Recuperado de <https://www.sodimac.cl/static/catalogos-web/catalogo.html?asset=SodimacCL/3147398-2-Manual>
- [53] Superbidon Envases industriales. Tambor plástico 100 litros natural tapa chica. Recuperado de <https://www.superbidon.cl/p266/tambor-plastico-100-litros-natural-tapa-chica>
- [54] Superbidon Envases industriales. Tambor plástico 230 litros natural tapa chica. [https://www.superbidon.cl/p\\_160/tambor-plastico-230-litros-tapa-grande](https://www.superbidon.cl/p_160/tambor-plastico-230-litros-tapa-grande)
- [55] Mercado libre. Bidones 50 Litros Certificados Clase 8 (Reacondicionado). Recuperado de [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-569062458-bidones-50-litros-certificados-clase-8-\\_JM#position=16&type=item&tracking\\_id=bd814e3b-9b02-40ae-a588-dd0627958d14](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-569062458-bidones-50-litros-certificados-clase-8-_JM#position=16&type=item&tracking_id=bd814e3b-9b02-40ae-a588-dd0627958d14)
- [56] Superbidon Envases industriales. Tambor plástico 120 litros natural tapa chica. Recuperado de <https://www.superbidon.cl/p265/tambor-plastico-120-litros-natural-tapa-chica>
- [57] MDT. Aridos por mayor. Recuperado de <https://movimientosdetierra.cl/aridos-por-mayor/>
- [58] Mercado libre. Membrana Impermeable De La Membrana Geomembrana De La Acuicu. Recuperado de [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-593232004-membrana-impermeable-de-la-membrana-geomembrana-de-la-acuicu-\\_JMposition=1&type=item&tracking\\_id=027f38ad-9e38-4a61-8aeb-e0cf2cb419c8](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-593232004-membrana-impermeable-de-la-membrana-geomembrana-de-la-acuicu-_JMposition=1&type=item&tracking_id=027f38ad-9e38-4a61-8aeb-e0cf2cb419c8)
- [59] Mercado libre. Envases Ibc De 1.000 Litros, Estanques, Bins.-. Recuperado de [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-547297863-envases-ibc-de-1000-litros-estancques-bins-\\_JMposition=16&type=item&tracking\\_id=c2fdbb83-dc59-40fe-bd89-caf9e45d57d6](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-547297863-envases-ibc-de-1000-litros-estancques-bins-_JMposition=16&type=item&tracking_id=c2fdbb83-dc59-40fe-bd89-caf9e45d57d6)
- [60] Sodimac. Electrobomba periférica 0,5 HP 32 l/min. Recuperado de <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/3147398/Electrobomba-periferica-05-HP-32-l-min/3147398>
- [61] Instituto de Desarrollo Agropecuario. (S.f.) *Programa de Desarrollo de Inversiones - (PDI)*. Ministerio de Agricultura. Recuperado de <https://www.indap.gob.cl/servicios-indap/plataforma-de-servicios/financiamiento/!k/programa-desarrollo-de-inversiones-pdi>
- [62] CGE. Tarifas de Suministro Eléctrico - 1 de marzo de 2021. Recuperado de <https://www.cge.cl/wp-content/uploads/2021/02/Tarifas-Suministro-CGE-Marzo-2021.pdf>
- [63] Max, S. P., Klaus, D. T., Ronald, E. W. (2003). Plant design and economics for chemical engineers.

# Capítulo 6

## Anexos

### 6.1. Datos CENSO 2017 comunidad Juan de la Cruz Pinchumilla Newen Lafquen

Se adjunta documento con la base de datos (Datos\_CENSO2017.xlsx). A continuación se señala la información contenida en la base de datos.

A	B	C	D	E	F	G	H
REGION	PROVINCIA	COMUNA	ZONA O LOCALIDAD	ID_VIVIENDA	TIPO_VIVIENDA	OCUPACION_VIVIENDA	MUROS
ARAUCAN CUATIN	NUEVA TOLTI		9118012016	9118012016076	CASA	CON MORADORES PRESENTES	TABIQUE F
ARAUCAN CUATIN	NUEVA TOLTI		9118012016	9118012016073	CASA	CON MORADORES PRESENTES	TABIQUE F
ARAUCAN CUATIN	NUEVA TOLTI		9118012016	9118012016055	CASA	CON MORADORES PRESENTES	TABIQUE SI
ARAUCAN CUATIN	NUEVA TOLTI		9118012016	9118012016003	CASA	CON MORADORES PRESENTES	TABIQUE F
ARAUCAN CUATIN	NUEVA TOLTI		9118012016	9118012016001	CASA	CON MORADORES PRESENTES	TABIQUE F
ARAUCAN CUATIN	NUEVA TOLTI		9118012016	9118012016087	CASA	CON MORADORES PRESENTES	TABIQUE SI

Figura 6.1: Región: nombre de región; Provincia: nombre de provincia; Zona o localidad: número que identifica el sector específico; ID\_Vivienda: número que identifica a la vivienda dentro de una zona o localidad determinada; Tipo\_vivienda: tipo de vivienda; Ocupación vivienda: estado de ocupación de la vivienda; Muros: Identifica el tipo de muro de la vivienda.

I	J	K	L	M	N	O	P	Q
TECHO	PISO	PIEZAS	ORIGEN DEL AGUA	CANT_PER	TIP_HOGAR	PARENTESCO	SEXO	EDAD
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño)	Parquet, p		1 POZO O NORIA		1 UNIPERSONAL JEFE HOGAR	MUJER		55
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño)	Parquet, p		1 POZO O NORIA		2 MONOPARENT JEFE HOGAR	MUJER		29
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño)	Parquet, p		3 POZO O NORIA		2 BIPARENTAL SI JEFE HOGAR	MUJER		48
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño)	Parquet, p		2 POZO O NORIA		4 BIPARENTAL C/ JEFE HOGAR	MUJER		29
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño)	Parquet, p		2 POZO O NORIA		1 UNIPERSONAL JEFE HOGAR	MUJER		54
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño)	Parquet, p		2 POZO O NORIA		3 BIPARENTAL C/ JEFE HOGAR	MUJER		56

Figura 6.2: Techo: tipo de techo de la vivienda; Piso: tipo de piso de la vivienda; Piezas: número de piezas de la vivienda; Origen del agua: fuente de origen del agua para el uso doméstico; Cant\_per: número de personas que viven en la vivienda; Tip\_hogar: Tipo de conformación familiar de la vivienda; Parentesco: rol de quien responde la encuesta; Sexo: Sexo de quien responde la encuesta; Edad: edad de quien responde la encuesta.

R	S	T	U	V	W	X
ASISTE A EDUCACIÓN	CURSO MÁS ALTO APROBADO	EDUC_NIVEL	TERMINO NIVEL	PUEBLO INDIGENA	PUEBLO ETNIA	TRABAJO SEMANA PASADA
NO		4 MEDIA TEC	SI	SI	MAPUCHE	Realizó quehaceres de su hog
SI		4 PROFESIONAL	SI	SI	MAPUCHE	Por un pago en dinero o espe
NO		4 MEDIA CH	SI	SI	MAPUCHE	Realizó quehaceres de su hog
NO		4 MEDIA CH	SI	SI	MAPUCHE	Por un pago en dinero o espe
NO		8 BÁSICA	SI	SI	MAPUCHE	Por un pago en dinero o espe
NO		3 BÁSICA	NO	SI	MAPUCHE	Realizó quehaceres de su hoga

Figura 6.3: Asiste a educación: si/no accede a institución de educación; Curso más alto aprobado: curso más alto aprobado por quien responde la encuesta; Educ\_nivel: Nivel de educación alcanzado por quien responde la encuesta; Termino nivel: si/no termino último nivel de educación iniciado; Pueblo indígena: si/no pertenece a un pueblo indígena; Pueblo\_etnia: nombre de pueblo o etnia a la que pertenece quien responde la encuesta; Trabajo semana pasada: trabajo realizado por quien responde la encuesta durante la última semana.

Y	Z
RAMA ACTIVIDAD ECONOMICA	HIJOS
Realizó quehaceres de su hogar	0
Actividades profesionales, científicas	1
Realizó quehaceres de su hogar	1
Actividades de alojamiento y de servicios	2
Agricultura, ganadería, silvicultura	2
Realizó quehaceres de su hogar	2

Figura 6.4: Rama actividad económica: rama de actividad económica desarrollada por quien responde la encuesta; Hijos: número de hijos de quien responde la encuesta.

## 6.2. Requisitos de calidad NCh 1333

INDICADOR	UNIDAD	EXPRESIÓN	REQUISITO
pH	Unidad	pH	5,5 – 9,0
Aluminio	mg/l	Al	5,00
Arsénico	mg/l	As	0,10
Bario	mg/l	Ba	4,00
Berilio	mg/l	Be	0,10
Boro	mg/l	Bo	0,75
Cadmio	mg/l	Cd	0,01
Carbaril	g/l		70,00
Cianuro	mg/l	CN	0,20
Cloruros	mg/l	Cl <sup>-</sup>	200,00
Cobalto	mg/l	Co	0,05
Cobre	mg/l	Cu	0,20
Cromo	mg/l	Cr	0,10 (1)
Fierro	mg/l	Fe	5,00
Fluoruros	mg/l		1,00
Litio	mg/l	Li	2,50
Litio (cítricos)	mg/l	Li	0,075
Manganeso	mg/l	Mn	0,20
Mercurio	mg/l	Hg	0,001
Molibdeno	mg/l	Mo	0,01
Níquel	mg/l	Ni	0,20
Plata	mg/l	Ag	0,20
Plomo	mg/l	Pb	5,00
Selenio	mg/l	Se	0,02
Sodio	%	Na	35,00
Sulfatos	mg/l	SO <sub>4</sub>	250,00
Vanadio	mg/l	Vn	0,10
Zinc	mg/l	Zn	2,00
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		1000

Figura 6.5: Estándares químicos de calidad de agua para riego.[21]

(1) : En aguas de riesgo destinadas a verduras y frutas que se desarrollan a ras del suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo.

(2) : El sodio porcentual es la relación entre la concentración del ion sodio y la suma de las concentraciones de los iones sodio, calcio, magnesio y potasio expresadas en miliequivalentes por litro, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$Na\% = (Na / (Na + Ca + Mg + K)) \times 100$$

CLASIFICACIÓN	Conductividad Específica (c): mhos/cm a 25°C	Sólidos Disueltos Totales (s) mg/l a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c < 750$	$s < 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c < 1500$	$500 < s < 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso	$1500 < c < 3000$	$1000 < s < 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3000 < c < 7500$	$2000 < s < 5000$

Figura 6.6: Estándares para conductividad específica y sólidos disueltos totales en Aguas de Regadío.[21]

### 6.3. Esquema de sistema “Gota a Gota”

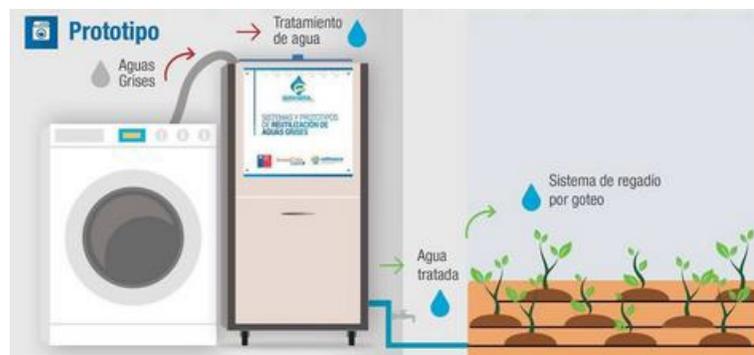


Figura 6.7: Esquema de sistema de tratamiento de aguas grises provenientes de la lavadora.

## 6.4. Biofiltro Aeróbico CERES

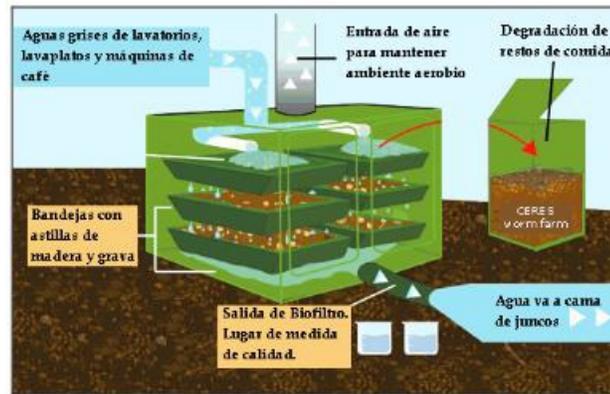


Figura 6.8: Esquema de sistema de Australia. Biofiltro Aeróbico CERES.[25]

## 6.5. Sistema de tratamiento de aguas grises, Universidad de Quindío

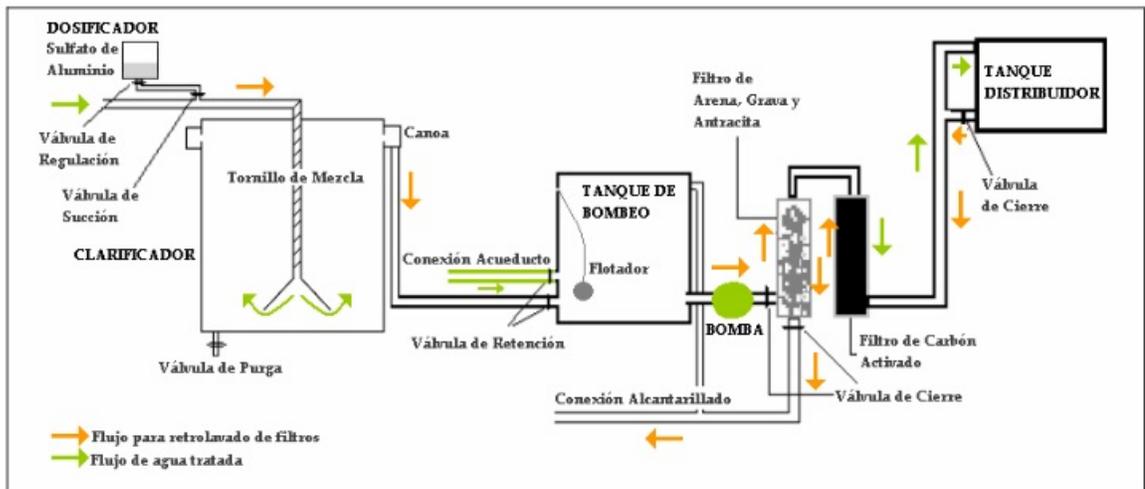


Figura 6.9: Esquema de sistema de tratamiento de aguas grises, Universidad de Quindío. Colombia.[25]

## 6.6. Sistema de tratamiento de aguas grises. Suecia.

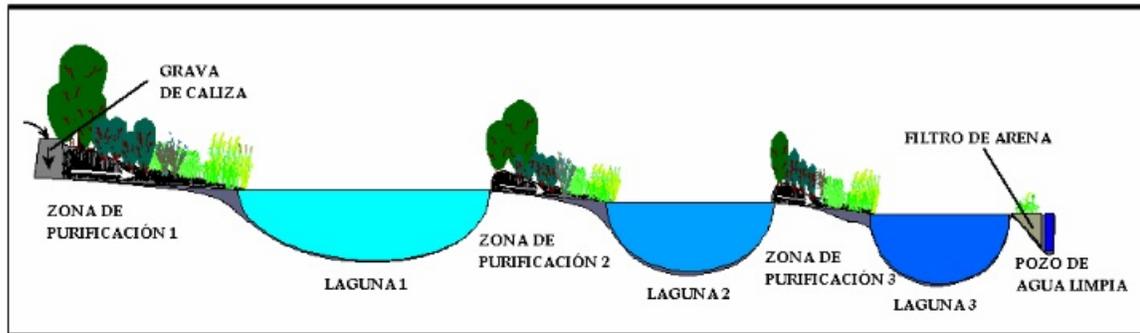


Figura 6.10: Esquema de sistema "Wetpark" Parque Húmedo. Kalmar.[25]

## 6.7. Sistemas de tratamiento de 2 y 4 barriles

- 2 barriles:

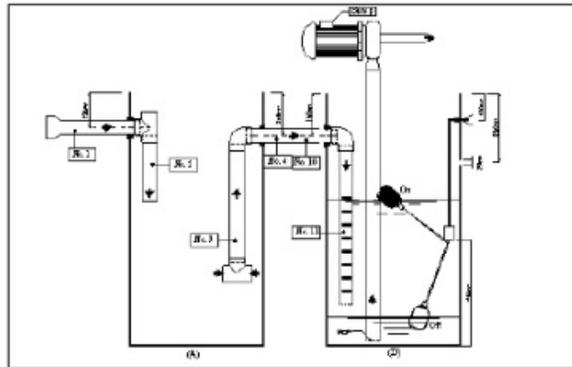


Figura 6.11: Esquema de sistema de tratamiento de 2 barriles.

- 4 barriles:

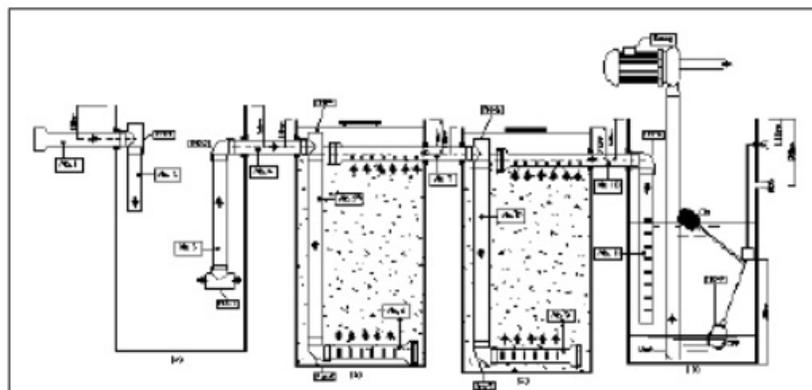


Figura 6.12: Esquema de sistema de tratamiento de 4 barriles.

## 6.8. Criterios EPA sobre calidad de agua para riego

Potential Irrigation Problem	Units	Degree of Restriction on Irrigation			
		None	Slight to Moderate	Severe	
<b>Salinity</b> (affects crop water availability) <sup>2</sup>					
EC <sub>w</sub>	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0	
TDS	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000	
<b>Infiltration</b> (affects infiltration rate of water into the soil; evaluate using EC <sub>w</sub> and SAR together) <sup>3</sup>					
SAR	0 – 3	and EC <sub>w</sub> =	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	3 – 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	6 – 12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	20 – 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
<b>Specific Ion Toxicity</b> (affects sensitive crops)					
<b>Sodium (Na)<sup>4</sup></b>					
surface irrigation	SAR	< 3	3 – 9	> 9	
sprinkler irrigation	meq/l	< 3	> 3		
<b>Chloride (Cl)<sup>4</sup></b>					
surface irrigation	meq/l	< 4	4 – 10	> 10	
sprinkler irrigation	meq/l	< 3	> 3		
<b>Boron (B)</b>					
	mg/L	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0	
<b>Miscellaneous Effects</b> (affects susceptible crops)					
<b>Nitrate (NO<sub>3</sub>-N)</b>					
	mg/L	< 5	5 – 30	> 30	
<b>Bicarbonate (HCO<sub>3</sub>)</b>					
	meq/L	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5	
pH					
Normal Range 6.5 – 8.4					

Figura 6.13: Criterios de evaluación de la calidad del agua para riego. EPA,2012.

## 6.9. Desglose de la producción de aguas grises

Tabla 6.1: Desglose de la producción de aguas grises y aguas negras para una familia de 3 personas y 4.

Equipo	n° de equipos	Q (caudal)	Unidad	Uso	Unidad	Du [L/uso]	N [usos/d]	DdA [L/d]	Intensidad de uso diario según perfil del usuario			
									Permanentes		Transitorios	
								M	F	M	F	
Inodoro	1	6	[L/descarga]	1	[descarga]	6	7	42	1	3	0.2	0.5
Urinario	0	3.8	[L/descarga]	1	[descarga]	0	4	0	2	0	0.4	0
Lavamanos	1	9	[L/min]	30	[s]	4.5	11	49.5	3	3	0.5	0.5
Ducha	1	9.5	[L/min]	480	[s]	76	3	228	1	1	0	0
Lavaplatos	1	9	[L/min]	60	[s]	9	12	108	4	4	0	0
Llave de riego 1/2"	0	8	[L/min]	480	[s]	0	3	0	1	1	0	0
Lave de riego 3/4"	0	8	[L/min]	480	[s]	0	3	0	1	1	0	0
Lavadora	1	65	[L/ciclo]	3	[ciclo]	195	0.2	39	0	0	0	0
Lavavajilla	0	11	[L/ciclo]	2	[ciclo]	0	0	0	0	0	0	0

## 6.10. Fotografías de vistas de casa de La Familia



Figura 6.14: Vista frontal de la casa de La Familia.



Figura 6.15: Vista parcial del techo, desde la parte posterior de la casa de La Familia.



Figura 6.16: Vista lateral derecha de la casa de La Familia.



Figura 6.17: Vista lateral izquierda de la casa de La Familia.

## 6.11. Procesos de transformación del nitrógeno en humedales artificiales

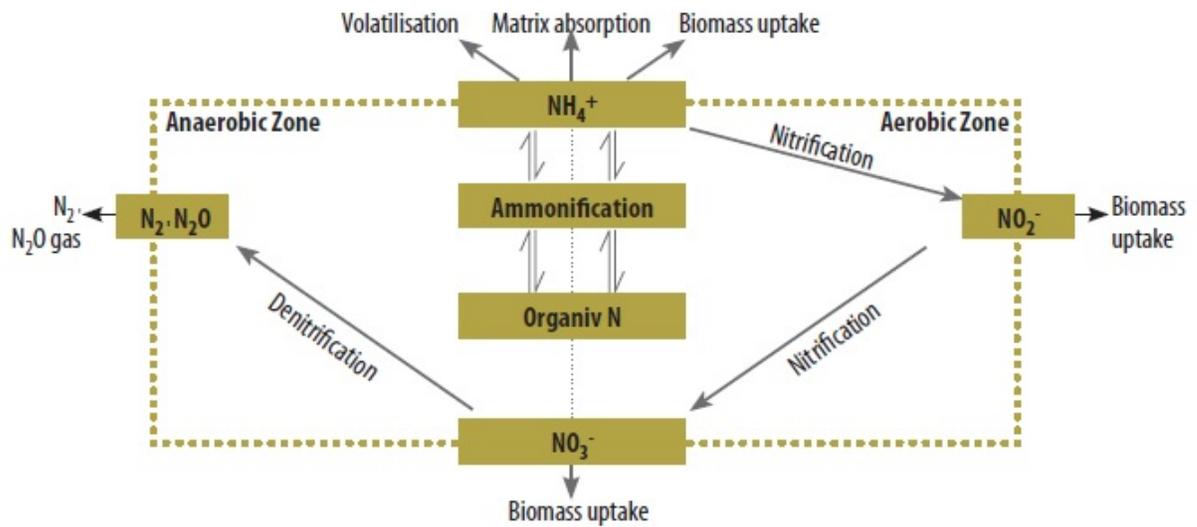


Figura 6.18: Procesos de transformación y eliminación del nitrógeno en un humedal artificial. [45]