



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA INGENIERÍA PARA LA
SOSTENTABILIDAD
INGENIERÍA AMBIENTAL

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL
PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS: CAPTACIÓN DE
AGUAS LLUVIAS Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES.

Proyecto de Título II
Para optar al Título de Ingeniera Ambiental y al grado académico
de Licenciada en Ciencias de la Ingeniería.

Nicole Stefanie Fuentes Alvarado

Prof. Guía: Eva Soto Acevedo
Prof. Informante: Patricio Méndez Quinteros

Valparaíso, Chile

2024

Resumen

El presente estudio técnico, económico y ambiental corresponde a la creación de un diseño de un sistema híbrido para la captación de aguas lluvias y la reutilización de aguas grises en viviendas sociales en la región de Valparaíso. Inicialmente se investigaron los antecedentes históricos que han influenciado el desarrollo del sector sanitario en Chile, seguido por un estudio de las diversas técnicas de captación de aguas lluvia y los distintos sistemas de reutilización de aguas grises en viviendas.

El principal objetivo de este proyecto es determinar la viabilidad del sistema híbrido para reducir los costos del agua potable y ofrecer una alternativa ante la escasez hídrica en la región. Para lograrlo, se llevó a cabo una metodología que incluyó la selección de un sistema de captación de aguas lluvias y un sistema de reutilización de aguas grises, con el fin que el sistema híbrido cumpla con la normativa y con los requisitos habitacionales de las viviendas, considerando la demanda de agua, la superficie de los techos y el uso de artefactos para una familia de cinco personas. Se determinó la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema híbrido a través de cálculos basados en datos de precipitación, consumo de agua y costos de materiales para el sistema propuesto.

Los resultados serán relevantes en la búsqueda del ahorro de agua potable y los costos relacionados. El diseño del sistema se ha elaborado para funcionar tanto en periodos de sequía como en periodos estivales. En conclusión, la implementación del sistema híbrido se presenta como una opción para mejorar el acceso al agua, fomentando el bienestar de las personas y la protección del entorno.

Palabras clave: Aguas lluvias, aguas grises, captación, sistema híbrido.

Abstract

The present technical, economic and environmental study corresponds to the creation of a design of a hybrid system for the capture of rainwater and the reuse of grey water in social housing in the Valparaíso region. Initially, the historical background that has influenced the development of the health sector in Chile was investigated, followed by a study of the various rainwater harvesting techniques and the different systems for reusing grey water in homes.

The main objective of this project is to determine the viability of the hybrid system to reduce drinking water costs and offer an alternative to water scarcity in the region. To achieve this, a methodology was carried out that included the selection of a rainwater harvesting system and a greywater reuse system, in order for the hybrid system to comply with the regulations and housing requirements of the homes, considering the demand for water, the surface of the roofs and the use of appliances for a family of five. The technical, economic, and environmental feasibility of the hybrid system was determined through calculations based on precipitation, water consumption, and material cost data for the proposed system.

The results will be relevant in the search for drinking water savings and related costs. The design of the system has been developed to operate both in periods of drought and in summer periods. In conclusion, the implementation of the hybrid system is presented as an option to improve access to water, promoting the well-being of people and the protection of the environment.

Keywords: Rainwater, gray water, catchment, hybrid system.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional durante todo este proceso. A mi madre, quien siempre me alentó a no rendirme; a mi tía, mi gran consejera y hermana sin serlo; mis abuelos, que siempre me apoyaron y estuvieron orgullosos de la persona en la que me he convertido, de quienes he aprendido tanto.

A mi mejor amiga Francisca, por su compañía constante, su apoyo incondicional y por abrirme las puertas de su casa cuando más lo necesitaba.

A mi compañera de universidad, Solange, quien siempre me motivó a no rendirme y a creer en mis capacidades para lograrlo.

Mi más sincero agradecimiento a mi profesora de tesis por su apoyo y paciencia para la finalización de este proyecto de titulación.

Al profesor informante por brindarme su tiempo y dedicación a prontas de la entrega de este proyecto.

A todas las personas que han estado y siguen en mi vida, así como aquellas que se han marchado, que estuvieron siempre apoyándome y dándome consejos.

Gracias a todos de corazón.

Tabla de Contenido

Capítulo 1: Introducción	9
1.1. Objetivo General	11
1.2. Objetivos Específicos	11
Capítulo 2: Antecedentes	12
2.1. Historia de la universalización del agua potable en Latinoamérica y el Caribe	12
2.2. Potabilización del agua en Chile	14
2.2.1. Primeros comienzos del sector sanitario en Chile	14
2.2.2. Nueva reforma y creación de SENDOS	15
2.2.3. Creación de la Superintendencia de Servicios Sanitarios	17
2.2.4. Ley General de Tarifas	18
2.2.5. Sistema de Subsidios	20
2.2.6. Privatización en el sector de agua potable y sistema alcantarillado	21
2.3. Agua Potable Rural	23
2.4. Estado del Sistema Alcantarillado	29
Capítulo 3: Marco Teórico	31
3.1. El Agua	31
3.1.1. Fuentes de Agua	31
3.1.2. Agua Potable	31
3.1.3. Calidad de Agua Potable	32
3.1.4. Captación de agua potable	35
3.1.5. Red de distribución de agua potable	36
3.1.6. Aguas Grises	36
3.2. Área de estudio: Región de Valparaíso	37
3.3. Cambio Climático	39
3.4. Crisis Hídrica	40
3.5. Camiones Aljibes	43
3.6. Captación de agua lluvia	44
3.6.1. Los sistemas de captación de aguas lluvias	44
3.6.2. Uso del agua lluvia	45
3.6.3. Tipos de sistemas de captación	45

3.7. Reutilización de aguas grises	54
3.7.1. Sistemas de reutilización de aguas grises.....	54
3.7.2. Uso de las aguas grises.....	54
3.7.3. Factores para la caracterización de las aguas grises	55
3.7.4. Reglamento sobre condiciones sanitarias para la reutilización de aguas grises	57
3.7.5. Calidad de las aguas grises tratadas	59
3.7.6. Tipos de sistemas de reutilización de aguas grises	60
Capítulo 4: Marco Normativo	63
Capítulo 5: Metodología de Trabajo.....	66
5.1. Primera Parte: Recopilación de información y análisis de los sistemas.....	66
5.2. Segunda Parte: Diseño de sistema híbrido de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises.	81
5.3. Tercera Parte: Determinación de la prefactibilidad técnica, económica y ambiental.....	84
5.3.1. Análisis Técnico	84
5.3.2. Análisis Económico	86
5.3.3. Análisis Ambiental	89
Capítulo 6: Resultados	93
Capítulo 7: Conclusión.....	96
Capítulo 8: Contribución esperada y productos esperados.....	99
Capítulo 9: Referencias.....	100
Capítulo 10: Anexos	111

Índice de Tablas

Tabla N° 1: Clasificación de las aguas grises	36
Tabla N° 2: Categorías de sistemas de captación de agua lluvia.	44
Tabla N° 3: Ventajas y desventajas de los sistemas de agua lluvias.	53
Tabla N° 4: Factores físicos (a), químicos (b), biológicos (c) para la caracterización de las aguas grises.....	55
Tabla N° 5: Usos urbanos	59
Tabla N° 6: Riego de áreas recreativas y de servicios.....	60
Tabla N° 7: Riego ornamental.....	60
Tabla N° 8: Normativas relacionadas a normas y regulación del agua en Chile ...	63
Tabla N° 9: Normativas relacionadas a la calidad de aguas en Chile.	64
Tabla N° 10: Normativa española en función de las transposiciones de las Directivas Europeas 20/60/CEE y Directiva 91/271/CEE.	65
Tabla N° 11: Precipitación Mensual, estación de monitoreo Rodelillo 2014-2023.	69
Tabla N° 12: Precipitación Mensual, estación de monitoreo Viña del Mar (Torquemada) 2014-2023.....	70
Tabla N° 13: Precipitación Anual de estaciones y promedio de precipitación entre ambas estaciones.....	70
Tabla N° 14: Gasto promedio de una familia de 5 personas	72
Tabla N° 15: Precipitación del Promedio Mensual entre las estaciones de Rodelillo y Viña del Mar (2014-2023).	74
Tabla N° 16: Coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de materiales.....	75
Tabla N° 17: Zonas hídricas y línea base de consumo según región.....	76
Tabla N° 18: Caudales por artefacto e intensidad de uso diario según perfil y género.....	77
Tabla N° 19: Costos de los materiales para el sistema de captación de agua lluvia.	85
Tabla N° 20: Costos de la instalación del sistema de aguas grises.....	86
Tabla N° 21: VAN y TIR del proyecto.....	87
Tabla N° 22: Tasa de Descuento del proyecto.....	89
Tabla N° 23: Matriz de Leopold aplicada al caso de estudio.	91
Tabla N° 24: Calificación Negativa del proyecto	92
Tabla N° 25: Calificación Positiva del proyecto.....	92

Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de las regiones chilenas por tipo y número de comunas ..	25
Figura 2. Ruralidad en Chile	25
Figura 3: Región de Valparaíso.....	38
Figura 4. Visor territorial de sequía en Chile	40
Figura 5. Techos verdes.....	46
Figura 6. Estanques de infiltración	46
Figura 7. Zanjas de infiltración.....	47
Figura 8. Pozo de infiltración.	47
Figura 9. Jardín de lluvia.....	48
Figura 10. Biofiltro.....	49
Figura 11. Pavimentos permeables	50
Figura 12. Macizos de Árboles.	50
Figura 13. Sistema de captación de agua lluvia.	53
Figura 14. Usos de las aguas grises.....	58
Figura 15. Vivienda social en Chile de acuerdo al decreto supremo N° 49	67
Figura 16. Vivienda social pareada en Chile.....	67
Figura 17. Estaciones de monitoreo en la región de Valparaíso.....	68
Figura 18. Criterios para la instalación de un sistema de captación de aguas lluvias	81
Figura 19. Sistema Híbrido de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises	83
Figura 20. Promedio de la Precipitación Anual entre las estaciones de monitoreo de Rodelillo y Viña del Mar	93
Figura 21. Valor Actual Neto según la tasa de descuento del proyecto	94

Capítulo 1: Introducción

La escasez hídrica en Chile ha afectado a aproximadamente un millón de personas y más de 383.204 viviendas, dejándolas sin acceso a agua potable (Fernández, 2022). A pesar de los esfuerzos realizados en América Latina y el Caribe para avanzar en el suministro de servicios de agua potable y saneamiento, aún no se ha logrado garantizar el acceso universal a agua potable de calidad para la población.

En este contexto, el presente trabajo examinará la evolución de la universalización del agua potable en Latinoamérica y el Caribe, así como el proceso de potabilización del agua en Chile. Se analizarán los antecedentes históricos que marcaron el inicio del sector sanitario en Chile, desde 1860, cuando la participación de empresas reguladoras comenzó a influir en el desarrollo del sector sanitario. Además, junto con la creación de nuevas reformas en el sistema, permitieron un enfoque más integrado y coherente a través de la creación del Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS) el año 1977 y la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) en 1990, organismos clave para la regulación y fiscalización del sector, garantizando así un servicio adecuado y eficiente para la población. La llegada del sector privado impulsó el avance en infraestructura a través de inversiones en los sistemas.

Con el fin de comprender integralmente el sector sanitario y abordar la situación actual del sistema, se estudiará el tema del Agua Potable Rural. Según datos proporcionados por Fernández (2022). Se estima que aproximadamente el 47% de las personas que viven en zonas rurales en Chile no tienen acceso a agua potable y dependen de camiones aljibes como fuente de suministro. La escasez de agua en la región de Valparaíso se ha visto agravada por la sequía que afecta a la zona centro-norte de Chile, lo que ha llevado a la implementación de diversas medidas relacionadas con la gestión del agua. Como resultado la Dirección General de Aguas (DGA) ha declarado áreas de restricción para nuevas extracciones subterráneas de agua. Los ríos de la región presentan un caudal cada vez más reducido para abastecer a las comunidades. Actualmente, diez regiones dependen de camiones aljibes para el suministro de agua en sus comunas, siendo las regiones más afectadas Biobío, La Araucanía y Coquimbo.

En esta tesis se enfoca en el estudio de los sistemas híbridos de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises como estrategias para reducir los costos asociados al agua y hacer frente a la escasez en la región. El objetivo consiste en diseñar un sistema híbrido y evaluar su factibilidad técnica, económica y ambiental para su implementación en viviendas sociales de la

región de Valparaíso. Esto se llevará a cabo mediante la recopilación de datos de pluviometría de la zona y el cálculo del volumen a almacenar, utilizando una metodología que propone la evaluación de un sistema híbrido.

Busca contribuir al conocimiento y la comprensión de los desafíos y problemas relacionados con el acceso al agua en la región, identificando tanto los beneficios como los costos asociados con la implementación de este sistema. Además, se pretende abordar el acceso al agua potable en Chile y proponer soluciones para mejorar la gestión del recurso en viviendas, tanto en áreas urbanas como rurales.

1.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad de implementar sistemas híbridos de captación de agua en viviendas sociales de la región de Valparaíso, utilizando las precipitaciones, humedad relativa y aguas servidas como fuentes de abastecimiento.

1.2. Objetivos Específicos

1. Investigar sistemas de captación de aguas lluvias y sistemas para reutilización de aguas grises, con el fin de seleccionar el más idóneo mediante un análisis detallado de las fuentes recopiladas.
2. Diseñar un sistema híbrido de captación de agua lluvia y aguas grises para proponer su utilización en viviendas de la región de Valparaíso.
3. Analizar la prefactibilidad técnica, ambiental y económica para la instalación de sistemas híbridos de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises con el objetivo de comparar su viabilidad como alternativa al uso de agua potable convencional en la región.

Capítulo 2: Antecedentes

2.1. Historia de la universalización del agua potable en Latinoamérica y el Caribe

A partir de finales de la década de los años 30, se han universalizado los servicios urbanos de las ciudades de Europa o Norteamérica, mientras que los países en vías de desarrollo enfrentan una falta de infraestructura en los sistemas domiciliarios (Pflieger, 2008).

Los países desarrollados tenían a mitad del siglo XX una visión de integración territorial mediante las redes de la ciudad, impulsados por servicios integrados, respaldados por monopolios y propiedad estatal. Sin embargo, los países en desarrollo no lograron alcanzar esta visión debido a deficiencias en la gestión, financiamiento y la planificación de los sistemas (Romero, 2022). Estas deficiencias obstaculizaron su desarrollo económico como social, debido a que carecían de inversión en la infraestructura, desigualdades e inestabilidad política que complicaron el desarrollo de las redes sanitarias. En este sentido los países de América Latina y el Caribe realizaron una serie de cambios en empresas estatales o privadas de servicios públicos. Por medio de la implementación de políticas que promueven el sector privado fomentadas por agencias y bancos multilaterales de la llegada de compañías privadas que gestionan los servicios públicos siguiendo lineamientos condicionados con el Banco Mundial (BM) y el Fondo Monetario Internacional (FMI).

El estado de la red de distribución de agua potable y servicios de saneamiento privados en el mundo antes de las décadas de los 70 y 80 eran poco comunes. Es a partir del año 1990 que la propiedad privada comenzó a manejar los sistemas de agua potable y servicios de sanidad enfocadas en las grandes ciudades. Pero a finales de 1990 la contribución del sector privado empezó a disminuir a causa de crisis económicas y modificaciones en las áreas de inversiones. En concreto las compañías privadas obtenían bajas tasas de ganancias en contraste con la inversión de capital para distribuir el sistema, por otro lado, las negociaciones de los contratos y tarifas tenían un alto riesgo económico agregando además que se dificulta una distribución del sistema a los clientes de bajos recursos y baja capacidad de pago (Romero, 2022).

En relación con los países del cono sur, modificaron sus estructuras institucionales, políticas y de planificación con el objetivo de integrar la inversión privada en los sistemas de agua potable y servicios de saneamiento. Como resultado, 21 países obtuvieron préstamos con el Banco Mundial y el Fondo

Monetario Internacional, los cuales establecieron como requisito la privatización de las redes de agua y servicios sanitarios (Romero, 2022). El Banco Mundial es la organización primordial multilateral de financiamiento para proyectos relacionados con la gestión del agua en los países en desarrollo. Con una visión de “Un mundo con seguridad hídrica para todos” trabaja en conjunto con los países, desarrollando una gestión integrada de los recursos hídricos, promoviendo las inversiones y soluciones en la infraestructura (Banco Mundial, 2022).

El problema con el sector privado se originó en los tipos de contratos suscritos por los países en desarrollo, dado que la responsabilidad de inversiones financieras y el riesgo económico que asumen ambas partes era completamente contrastante. El tipo de contrato varía según el proceso de negociación del mismo, vale decir se tienen los contratos de arrendamiento y concesión, para el primero el Estado es responsable de las inversiones de capital, como la extensión del sistema y su distribución. Para el segundo es un contrato a largo plazo cuya responsabilidad recae en la inversión de la empresa privada (Romero, 2022). En definitiva, para ambos contratos hubo una mala gestión en los países, ya que no había capacidad de pago para comenzar o expandir la distribución de agua y sistemas de saneamiento. Al igual que los contratos poseían altas tarifas y no había una real preocupación de seguir extendiendo el servicio por parte del sector privado por los altos costos y baja plusvalía de la inversión.

En cuanto a los acuerdos comerciales entre las naciones y los tratados de libre comercio, que impulsan las inversiones del sector privado, han generado desigualdades en las renegociaciones de los contratos y el término de estos. Cuando los municipios tienen una postura de remunicipalización de los servicios, los acuerdos pueden presentar garantías extensas como cláusulas en defensa de las inversiones privadas por lo que complica retomar el manejo público.

En los últimos años América Latina y el Caribe presentan un avance en los servicios de agua potable y saneamiento, sin embargo, aún no es suficiente para garantizar el acceso y la calidad de los servicios a la población. Según CEPAL (2020) más del 25% de la población no tiene acceso a servicios de agua potable y el 70 % no presenta un sistema de saneamiento. En definitiva, el acceso a agua potable ha adquirido mayor importancia comparado a décadas pasadas, sin embargo, es crucial que el 100% de las personas tenga acceso al agua potable y sistemas de sanidad.

2.2. Potabilización del agua en Chile

2.2.1. Primeros comienzos del sector sanitario en Chile

En Chile, a partir del año 1860 que el desarrollo del sector sanitario surge con la participación de varias entidades reguladoras, en su mayoría públicas. Desde 1931 se estableció una regulación a través de la Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado, la cual estaba bajo la dependencia del Ministerio del Interior (Cariola & Alegria, 2004). Posteriormente, se lleva a cabo la fusión del departamento de obras hidráulicas, del Ministerio de Obras Públicas dando lugar a la creación de la Dirección de Obras Sanitarias (D.O.S). La entidad tenía como función principal la administración de las instalaciones de distribución de agua potable. Además, contaba con la facultad de financiar con fondos públicos los estudios, proyectos, construcción, reparación, conservación, explotación de los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado de la población (SISS, s.f.).

De esta manera la evolución del sector sanitario en Chile desde sus inicios se desarrolla como un servicio que está bajo la regulación del gobierno. De este modo los avances en los servicios sanitarios fue un resultado de la inversión pública en la calidad y cobertura de las redes de distribución. Esto continuó hasta finales del año 1970 donde se lograron avances en la infraestructura de los servicios de tal manera de satisfacer el 90% de la demanda global de agua potable y del 60% a un 80% del sistema de alcantarillado en el país (Cariola & Alegria, 2004). La intervención del Estado en la regulación y financiamiento fue fundamental para asegurar la cobertura de la potabilización del agua ya que cuando entró el sector privado había grandes avances de la red de distribución en contraste con otros países en vías de desarrollo que tenían menor o nula cobertura.

Una serie de cambios dan un viraje a la visión del país, según (Cariola & Alegria, 2004), con la creación de CORFO (Corporación de Fomento de la Producción), ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad) y otras entidades nace el “Estado Empresario”. Estas entidades atraen mejores profesionales al país generando una gran capacidad de profesionales que cambiarían el desarrollo del sector sanitario. En este sentido se logra cambiar el enfoque con que el gobierno abordaría a los servicios públicos mediante la implementación de nuevas políticas y estrategias para mejorar la infraestructura y tecnología.

La universalización del acceso a los servicios urbanos, se debe al despliegue de una visión de infraestructura moderna, entre 1970 con una política de vivienda y urbanismo se logra un quiebre a la inaccesibilidad de los servicios. lo

que disminuiría la producción de viviendas precarias a partir de 1971 y durante dos décadas (Pflieger, 2008). Durante este tiempo se logró una mayor cobertura de viviendas con acceso a agua potable principalmente en la ciudad de Santiago lo que marcaría un punto de partida a un gran porcentaje de la población con acceso a la vivienda propia y con accesibilidad a agua potable.

La multiplicidad de entidades con distintas visiones y metas, de las cuales dependía el sector sanitario, generaba una falta de coordinación que dificultaba la planificación, autofinanciación e independencia administrativa. Esto complicaba la mejora y ampliación de las redes de distribución de agua potable y alcantarillado. Por esta razón, el Estado estableció una institucionalidad que transformaría la gestión de los servicios, al separar el rol normativo y fiscalizador del rol ejecutor y operativo. Además, se empezó a visualizar el sector sanitario y otros servicios como una industria (Cariola & Alegria, 2004). Esta primera reforma en el sistema logró grandes avances en la aplicación de la industria sanitaria, así como en otros sectores como la electricidad, se esperaba mejorar significativamente la eficiencia y calidad de los servicios públicos.

2.2.2. Nueva reforma y creación de SENDOS

La primera gran reforma del sector sanitario fue en el año 1977, con la creación del Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS), integrando los servicios públicos distribuidos y gestionados por diferentes ministerios, supervisado de una manera reforzada del Ministerio de Obras Públicas (MOP) (Pflieger, 2008). Quedó conformado por una Dirección Nacional y once Direcciones Regionales, se estableció una entidad en cada región territorial administrativa del país; excepto para la región de Santiago y de Valparaíso en donde se establecieron empresas de propiedad del gobierno (Cariola & Alegria, 2004). Según Pflieger (2008), se le confirió a SENDOS la administración y explotación de los servicios sanitarios y de saneamiento. De tal forma que desempeña el papel de organismo regulador, encargado de definir las estructuras tarifarias, establecer nuevas normativas, supervisar los presupuestos y analizar los resultados.

La nueva institucionalidad permitió un enfoque más integrado y coherente para el desarrollo del sector, incrementando los servicios distribución en la calidad y su extensión en el país, logró una mayor claridad en el manejo de los recursos del sector, mayor autonomía en la toma de decisiones y la administración directa en el sector sanitario. Debido a los cambios implementados, las empresas y servicios aumentaron las tarifas, financiando por medio de préstamos incrementaron considerablemente su cobertura. Dado que estas nuevas tarifas no eran suficientes para el autofinanciamiento se mantuvo el

apoyo del Estado a los servicios mediante la asignación de recursos de su presupuesto (Cariola & Alegria, 2004).

Referente a las condiciones de vivienda durante los años setenta, los problemas de habitabilidad en la región metropolitana para acceder a los servicios básicos se debían al desarrollo de los barrios informales. Entre los años de 1973 a 1979, la construcción de viviendas sociales iniciada por el gobierno anterior se suspendió. No fue hasta el año 1979 que el gobierno estableció una nueva Política Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU), lo cual permitió restablecer los programas de acceso a la vivienda. En este sentido, el Estado se convirtió en el principal acreedor y proporcionó los recursos necesarios para que la población pudiera acceder a viviendas, pero no en términos de construcción (Pflieger, 2008). Como resultado, las poblaciones que anteriormente carecían de un hogar con acceso a los servicios básicos lograron, cada vez más, acceder a la conexión de las redes domiciliarias gracias al nuevo plan implementado.

La cobertura de la potabilización del agua durante este periodo de tiempo alcanzó un 92% y la red de saneamiento llegó al 68% en el año 1980. En cuanto, al tratamiento de las aguas servidas, la cobertura era del 8% en 1989 (Cariola & Alegria, 2004). Es importante destacar que este servicio ha tenido la menor cobertura y puede ser analizado desde una perspectiva medioambiental. En este sentido cabe mencionar la creación el 1 de marzo de 1994 de la Ley N° 19.300, también conocida como la ley de Bases Generales del Medio Ambiente; esta ley estableció una regulación general del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, así como la protección del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales. A partir de ese momento, el cuidado del medio ambiente y la salud de la población adquirieron una mayor relevancia.

Siete años después de la creación del SENDOS, se comenzó a llevar a cabo un estudio y desarrollo de diferentes proyectos de Ley con el objetivo de lograr un cambio en el papel del estado en la industria sanitaria. Se buscaba:

- i) Desligar la función de regulación, que le correspondía al Estado, de su función como proveedor de servicios.
- ii) Establecer un marco de regulación de las actividades en las entidades que trabajan en el sector, de una manera igualitaria en los recursos del sector público tanto como en el privado.
- iii) Minimizar las pérdidas en la operación de entidades en el sector con una propiedad de monopolio natural a través de crear una nueva regulación.
- iv) Implementar subsidios para los clientes de bajos recursos.

La segunda reforma que se llevó a cabo en los servicios de agua potable y alcantarillado por parte del Estado culminó con la promulgación de una serie de legislaciones que se implementaron durante el periodo de 1988 a 1990. (Cariola & Alegria, 2004).

Una de ellas fue la implementación en 1988, la “Ley General de Servicios Sanitarios”. Esta ley establece las normas que regulan el funcionamiento de las entidades encargadas de brindar el servicio sanitario, así como las condiciones en las que deben prestar dicho servicio y entrega un marco de concesiones bajo el cual deben operar (Cariola & Alegria, 2004). Estas nuevas normativas representaron un importante avance en términos de regulación y estructura de los servicios sanitarios en el país.

Otra ley importante implementada fue la Ley N° 18.885 el 12 de enero de 1990, que permitió al Estado involucrarse en las actividades de empresas relacionadas con el suministro de agua potable y alcantarillado. Como resultado se formaron once empresas regionales establecidas como sociedades anónimas en las cuales el Estado y la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) participaron como accionistas. Con esta nueva estructura, deja de existir la institucionalidad pública conocida como SENDOS, dando comienzo a un nuevo sistema en que las actividades productivas y reguladoras en el sector sanitario se dividen, de aquella manera se elimina la doble funcionalidad en una sola institución.

2.2.3. Creación de la Superintendencia de Servicios Sanitarios

Con el objetivo de establecer medidas de control sobre las empresas de agua potable, se promulgó la Ley N° 18.902 el 27 de enero de 1990, la cual estableció la creación de una nueva entidad reguladora llamada Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Esta medida tenía como propósito principal crear un organismo que deslinde el papel de fiscalizador del productor (Cariola & Alegria, 2004). La primera tarea del SISS fue la fijación de precios para las empresas autónomas, con el fin de lograr su autofinanciamiento. Sin embargo, uno de los desafíos que surgieron fue el aumento de los precios en las tarifas de agua para los clientes (SISS, s.f.).

Tras la creación de la institución, fueron creadas once empresas regionales públicas en sustitución de las antiguas direcciones regionales del SENDOS. De esta manera, la institución posee las mismas facultades normativas que otros

organismos reguladores incluyendo la estipulación de tarifas, supervisión de los criterios técnicos, asignación de las concesiones de los servicios, evaluación de la calidad del agua, entre otros poderes facultativos (Pflieger, 2008). El organismo buscaba garantizar y proporcionar un servicio adecuado y eficiente a la población, con un costo monetario mínimo. Además, se encargaba de garantizar que los clientes tuvieran acceso a agua de calidad que cumpliera con las normativas establecidas.

El rol de la institución se hizo evidente durante el control y manejo de la enfermedad epidemiológica que afectó a Chile a principios de los años de 90, conocida como cólera. Además, se llevó a cabo una vigilancia constante de la normativa del agua, asegurando un estricto control de los niveles de cloro libre residual de agua suministrada a la población. Esto se logró mediante el refuerzo de las pruebas de control de calidad del agua potable (SISS, s.f.).

2.2.4. Ley General de Tarifas

Antes de la implementación de la nueva normativa, el cálculo de las tarifas se basaba en los costos contables de las empresas y servicios, realizando ajustes según la política social y económica vigente. En consecuencia, las tarifas lograban financiar los gastos de operación y mantenimiento, así como parte de costos para la inversión. Sin embargo, en términos generales, no llegaban a proporcionar los recursos necesarios para el autofinanciamiento, lo que requería financiamiento adicional por parte del Estado (Pflieger, 2008).

Dentro de la segunda reforma se llevó a cabo la promulgación de la “Ley General de Tarifas”, que establece las normativas y procedimientos para la fijación de precios que pueden cobrar a los clientes las entidades encargadas de proveer el agua potable y manejar el servicio de alcantarillado. Dentro de los lineamientos y reglamentos limita que las tarifas se eleven de forma arbitraria y sin motivos válidos (Cariola & Alegria, 2004).

Los cambios en el sistema tarifario fueron posibles gracias a la existencia de medidores individuales en todos los hogares. Esto ha permitido a las empresas registrar de manera precisa y detallada el consumo real de cada cliente, lo que garantiza que las tarifas se ajusten de manera adecuada y justa. Los ajustes en el sistema tarifario se sustentan en datos concretos y verificables, lo que evita cualquier tipo de determinación indiscriminada y sin justificación.

El proceso de cálculo tarifario establecido en la normativa se basa en la evaluación de los costos incrementales de crecimiento dentro de una empresa

modelo (EM) para las distintas etapas del sistema de agua potable y alcantarillado, con las adaptaciones necesarias para alcanzar la eficiencia y lograr la autofinanciación (Cariola & Alegria, 2004). Se fijaron las tarifas de acuerdo a parámetros técnicos y asegurar el costo mínimo para los clientes, determinando que existan procesos simultáneos entre la empresa y el SISS para establecer las tarifas.

De esta manera, las nuevas tarifas se determinaron utilizando criterios de diseño y evaluación eficientes, en lugar de basarse únicamente en los cálculos tradicionales de costos de operación e inversión utilizados en el pasado. Para establecer los costos del suministro de agua potable y alcantarillado se consideran los costos incrementales que abarcan la inversión, operación, mantenimiento y la cantidad consumida anualmente. Estos costos se estiman mediante la simulación de la EM en relación con los programas de desarrollo reales, teniendo en cuenta los aspectos pertinentes como suministro de agua potable, la recolección y disposición de aguas servidas y el tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta la geografía de la zona.

Los proveedores de servicios tienen la capacidad de realizar ajustes en las tarifas, pero estos deben ser de al menos el 3%. Las fórmulas empleadas para calcular las tarifas establecen límites máximos de precios que tienen una duración de cinco años. Sin embargo, si la empresa demuestra que ha habido cambios significativos en las condiciones fundamentales utilizadas en el proceso de cálculo, es posible realizar modificaciones en dichas tarifas. Para ello se requiere establecer un consenso entre la empresa y el SISS (Cariola & Alegria, 2004). Este consenso implica que ambas partes deben llegar a un acuerdo y dar su aprobación a los cambios propuestos en las tarifas, teniendo en cuenta las nuevas condiciones y circunstancias.

La estructura de los cargos en las tarifas se compone de los siguientes elementos:

1. Cargo fijo: Este cargo se aplica de manera independiente al consumo y cubre el costo básico del suministro de agua potable y alcantarillado.
2. Cargo variable: Este cargo está relacionado con el consumo de agua potable y alcantarillado. Durante ciertos periodos de alta demanda, se aplica un cargo adicional sobre el monto de consumo para aquellos que excedan un nivel considerado como consumo excesivo de agua potable. El propósito de esta medida tiene como objetivo un consumo sustentable del servicio y fomentar al cliente la comprensión del valor del agua.
3. Cargo por tratamiento de aguas residuales: Varía según la ubicación del sector donde se lleva a cabo el tratamiento. En particular, en las zonas

costeras, se atribuye un mayor costo debido a la necesidad de tratar adecuadamente las aguas residuales antes de ser descargadas al mar. Este incremento en el costo es desigual comprendiendo la geografía de Chile, pero necesario para que se cumplan con los estándares ambientales antes de su disposición final en el océano.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios tiene la responsabilidad de publicar y poner a disposición de los clientes y de los proveedores las bases técnico-económicas que se usarán para efectuar el estudio y determinar las fórmulas tarifarias del próximo periodo (Cariola & Alegria, 2004). Con el objetivo de garantizar transparencia en el proceso de establecimiento de las tarifas de los servicios sanitarios. Una vez obtenidas las nuevas fórmulas tarifarias, éstas deben ser aprobadas mediante un Decreto Supremo del Ministerio de Economía, con un plazo de vigencia de 5 años (Pflieger, 2008). En cuanto a la estructura establecida para determinar los precios y cargos asociados a los servicios sanitarios, se ha implementado un modelo de autofinanciamiento. Este modelo toma en cuenta los proyectos de desarrollo de la empresa y se basa en una estructura tarifaria lineal, significa que la tarifa no varía en función de la cantidad de consumo, eliminando la división del consumo en rangos o bloques.

2.2.5. Sistema de Subsidios

La implementación de la reforma de 1989 y los posteriores aumentos en las tarifas generaron una fuerte oposición por parte de vecinos y clientes. A partir de 1995, el movimiento de consumidores comenzó a consolidarse a través de la Organización de Consumidores y Usuarios de Chile (ODECU). Se denunciaron los aumentos de precios injustificados y falta de participación de los consumidores en el proceso de regulación. A partir de ese momento, el movimiento de consumidores chilenos se comprometió a proteger los intereses de los usuarios de menores ingresos y demandó que los criterios de equidad social fueran considerados en el cálculo de precios (Pflieger, 2008).

Por lo tanto, surgió la necesidad de establecer un programa de subsidios que no afectará los precios del sistema y que permitiera el acceso de personas de bajos ingresos a la red de agua potable y el sistema de alcantarillado. Como resultado, se promulgó la Ley N° 18.778 el 2 de febrero de 1989, que estableció un subsidio directo en beneficio de grupos familiares de escasos recursos y personas de la tercera edad (Cariola & Alegria, 2004). Esta ley proponía la

exención de cargos para los primeros cinco metros cúbicos (m^3) de agua potable utilizada (Pflieger, 2008).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la Ley N° 18.778, del 17 de enero del año 1989, introdujo un financiamiento directo para el cobro del servicio de agua potable y alcantarillado, beneficiando a los grupos de escasos recursos. Este sistema está bajo la administración de las municipalidades, las cuales se encargan de gestionar las inscripciones y seleccionar a los solicitantes. La principal diferencia respecto con la primera ley promulgada radica en que esta vez se determinó que el porcentaje de subsidio a aplicar en los cargos fijos y variables debía situarse entre un rango mínimo del 25% y un máximo del 75%. Además, se estableció que el subsidio no podía exceder un consumo mensual total de 20 metros cúbicos (m^3) (Cariola & Alegria, 2004).

El responsable de la gestión a nivel nacional es el Ministerio de la Planificación (MIDEPLAN), el cual establece las asignaciones de subsidios para cada una de las regiones. En este proceso, se deben tener en cuenta las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que indican que las familias no deben gastar más del 5% de sus ingresos en el pago de sus cuentas y no deben exceder un consumo de 15 metros cúbicos (m^3) (Cariola & Alegria, 2004). De esta manera, el MIDEPLAN determina el nivel de consumo sujeto a subvención y calcula el valor del consumo en función de las tarifas establecidas por la distribución regional. Posteriormente, utilizando los datos de la encuesta CASEN, se establece tanto la cantidad como el monto del subsidio (Pflieger, 2008).

2.2.6. Privatización en el sector de agua potable y sistema alcantarillado

Con el retorno a la democracia en 1990, el nuevo gobierno adquiere un sector sanitario en el cual el Estado posee el 91% de las empresas, a diferencia de otros sectores de servicios en los cuales la mayoría pertenece al sector privado. Por esta razón, durante el periodo comprendido entre 1990 y 1998 se discuten y analizan diversas opciones para la incorporación de la participación privada en esta industria (Cariola & Alegria, 2004). Por otro lado, durante el gobierno de Pinochet, el sector del agua potable no fue considerado como una prioridad debido a la baja rentabilidad en comparación con las privatizaciones de la electricidad y las telecomunicaciones. Aunque se tenía previsto privatizar este sector en años posteriores, nunca se consideró su derrota en las elecciones. Asimismo, antes de las elecciones, el nuevo mandatario expresó su voluntad de

que el sector no fuera privatizado. Aunque no se llegó a una solución definitiva, las discusiones sobre reformas en el sector del agua potable se llevaron a cabo durante el siguiente gobierno, entre 1994 y el 2000, bajo la presidencia de Eduardo Frei, quien inició un proceso de nuevas reformas (Pflieger, 2008).

La privatización surgió como una opción de inversión, basada en la información recopilada de la privatización de otros servicios que requerían inversiones significativas. A partir de ese punto, se consideró el sector sanitario como una necesidad para el tratamiento de aguas residuales y desechos líquidos industriales (Cariola & Alegria, 2004), el sector sanitario, la privatización abarca una serie de medidas que involucran la participación del sector privado en la gestión de los sistemas. Estas medidas incluyen el manejo del sistema, la operación, el cobro de tarifas, la mantención de la infraestructura, la provisión de los servicios y el suministro de bienes a través de entidades o empresas privadas (Romero, 2022).

Entre los años 1982 y 1992, el número de viviendas con acceso al agua potable en la región metropolitana experimentó un incremento significativo. Como resultado, la tasa de conexión alcanzó un 99,1% en comparación con el 83% registrado en 1970 y el 97% en 1982. El aumento gradual de la red de potabilización se debe según Pflieger (2008), en relación al crecimiento demográfico y al aumento en el número de viviendas.

En concreto, el primer proceso de privatización de un servicio estatal ocurrió en 1993, cuando se otorgó la concesión de Litoral Sur a ESVAL S.A. Este contrato implicaba la responsabilidad de administrar y realizar inversiones para mejorar el servicio durante un periodo de 30 años. Posteriormente, en 1995, se llevó a cabo otra concesión mediante la venta de la empresa ESSAL S.A., que operaba en la X región del sur del país. La nueva empresa resultante de esta venta se llamó Aguas Décima S.A. que se establece de manera independiente (Cariola & Alegria, 2004).

En resumen, los primeros resultados de la reforma de 1989 a la culminación de la universalización del sistema de alcantarillado. A pesar de las diferencias entre los municipios con mayores recursos, los municipios centrales y de bajos recursos, se logró resolver rápidamente gracias a las inversiones en el sistema. Esto permitió que para el año 1996, el acceso al sistema de alcantarillado alcanzara un 98% (Pflieger, 2008).

Con los cambios en las reformas, se inicia con la venta de ESVAL S.A., la cual suministra agua potable a la región de Valparaíso, a ENERSIS-ANGLIAN WATER en 1998. Al año siguiente, se unió al sector privado EMOS S.A., la empresa sanitaria de mayor envergadura en el país, que proporcionaba

servicios a la región Metropolitana. De esta manera para finales del año 1999, se había alcanzado a privatizar un 66% de las empresas (Cariola & Alegria, 2004).

Es importante destacar la visión del gobierno, que tenía como objetivo lograr una cobertura del 100% en la red de distribución de agua potable y alcantarillado para el año 2000, así como alcanzar un 100% en el tratamiento de aguas servidas para el 2010. El enfoque de los gobiernos en proporcionar agua potable a las personas ha llevado a un notable progreso en este ámbito, en comparación con otros países del cono sur. Este avance ha sido posible gracias a la participación y la inversión del sector privado. El problema surge según (Cariola & Alegria, 2004) donde se ha observado incremento en los costos tarifarios relacionados con el tratamiento de aguas servidas y la modernización de las instalaciones, entre otros aspectos. Sin embargo, no se ha presentado una justificación adecuada de las inversiones realizadas en estas áreas. Esto ha generado una discrepancia significativa entre la situación actual y los datos registrados. De acuerdo con las cifras proporcionadas por el Sistema de Información de Servicios Sanitarios (SISS), se ha identificado un aumento de los pasivos y pérdidas en la distribución de agua potable a partir del año 2000. En síntesis, esta situación revela una deficiencia en el SISS, debido a que no cuenta con las facultades necesarias para obtener toda la información requerida de las empresas, de tal manera que sea posible identificar y determinar las posibles eficiencias derivadas de la real gestión de la empresa, con el objetivo de reducir los costos tarifarios.

Según datos entregados por CEPAL (2020), hasta el año 2017, Chile ha logrado un avance significativo en cuanto a la cobertura de agua potable. En las zonas urbanizadas, la cobertura alcanzó un 99%, lo que indica que la gran mayoría de la población urbana tiene acceso al servicio de agua potable. Sin embargo, en las áreas rurales, la cobertura de agua potable es del 78%.

2.3. Agua Potable Rural

En el ámbito del sector sanitario en las zonas rurales se encontraban diferentes entidades involucradas con el servicio; el Ministerio de Salud Pública contaba con la Oficina de Saneamiento Rural y la Sección de Higiene, mientras que el Ministerio de Agricultura tenía la Oficina de Ingeniería Sanitaria. En esa fecha según (Cariola & Alegria, 2004), la cobertura de agua potable en el país era del 10%, no existía ninguna entidad encargada de regular o gestionar la red de distribución de agua en las zonas rurales. Fue en el año 1961 cuando Chile se adhirió a la Carta de Punta del Este, que marcó el comienzo de la Alianza para el Progreso. Esta iniciativa se basó en la resolución de XIIª Asamblea Mundial

de la Salud en 1959. La alianza tenía una visión ambiciosa que buscaba la cooperación para fortalecer la democracia, el desarrollo económico y la equidad social en el hemisferio. Como objetivo se estableció alcanzar un acceso mínimo de agua potable del 50% para la población rural entre los años 1960 y 1970.

El impulso para la creación del programa surgió debido al movimiento migratorio de la población campesina hacia las ciudades en busca de mejores oportunidades y condiciones de vida. Esta migración, combinada con la exclusión social, resultó en altos índices de enfermedades y muerte debido al consumo de alimentos o agua contaminados. Con el fin de abordar esta problemática, los países se reunieron en Punta del Este con el objetivo de mejorar los servicios sanitarios en las poblaciones rurales.

El territorio rural se considera como el resultado de la interrelación dinámica entre las personas, los recursos naturales y los diversos procesos productivos del país. Según Fernández (2022) la clasificación de comuna, se caracteriza por una baja densidad de población, con menos de 150 personas por kilómetros cuadrados y una población que no exceda los 50.000 habitantes. La Política Nacional de Desarrollo Rural establece tres categorías para la clasificación de las comunas:

1. Comunas mayoritariamente rurales: Estas comunas se caracterizan por tener más del 50% de su población viviendo en distritos censales con una densidad menor a 150 hab/km².
2. Comunas mixtas: En estas comunas, entre el 25% y el 49% de población habita en distritos censales con una densidad menor a 150 hab/km².
3. Comunas urbanas: Estas comunas tienen un porcentaje menor al 25% de su población viviendo en distritos censales con una densidad menor a 150 hab/km².

A continuación, se presenta en la Figura 1 un gráfico que proporciona información sobre la distribución de las comunas en términos de su clasificación rural, mixta o urbana.

Según se observa en la Figura 1, la región de Valparaíso cuenta con un mayor número de comunas mixtas y comunas rurales. Esto resalta la importancia de abordar las necesidades de red de agua potable y alcantarillado, que pueden llevar a depender de camiones aljibes para satisfacer sus necesidades de consumo.

A partir de la Figura 2, se puede observar la superficie de Chile que pertenece a comunas rurales.

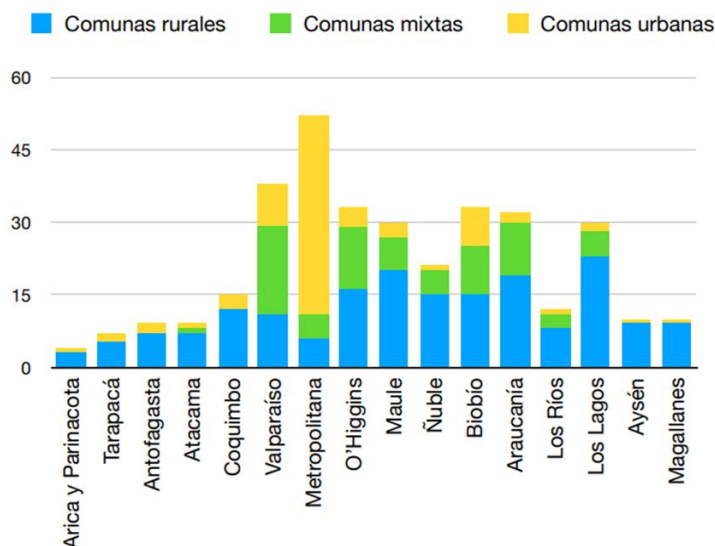


Figura 1. Clasificación de las regiones chilenas por tipo y número de comunas. Fuente: Fernández (2022). *Evaluación de la Institucionalidad Española para la Gobernanza y Gestión en el Saneamiento de las Aguas Servidas en Zonas Rurales en Chile*

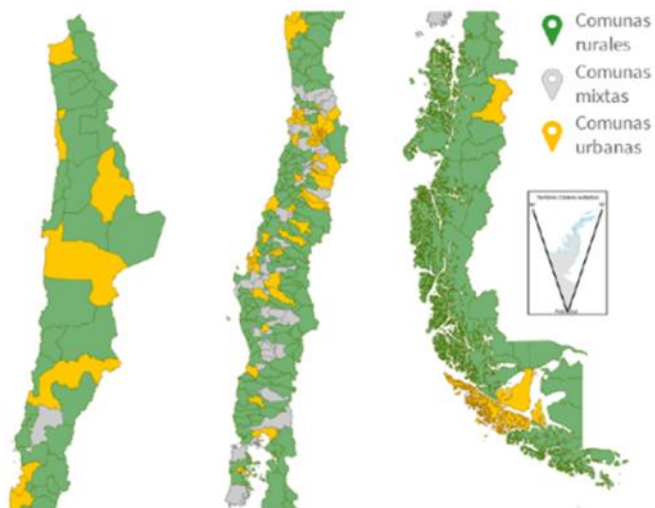


Figura 2. Ruralidad en Chile. Fuente: Fernández (2022). *Evaluación de la Institucionalidad Española para la Gobernanza y Gestión en el Saneamiento de las Aguas Servidas en Zonas Rurales en Chile.*

Como se puede observar en la Figura 2, se evidencia que un 83% de la superficie de Chile está compuesto por comunas rurales. Específicamente, de las 346 comunas existentes, 263 de ellas corresponden a áreas rurales.

Según los datos proporcionados por (Fernández, 2022), se estima que aproximadamente el 47% de las personas que viven en zonas rurales en Chile no tienen acceso a agua potable. En su lugar, dependen de fuentes superficiales, subterráneas o mediante camiones aljibes para obtener el recurso. Las regiones que presentan la mayor proporción de población rural se concentran principalmente en la macrozona sur del país. Estas regiones son: La región de La Araucanía con un 71%, la región del Biobío con un 68%, la región de Los Lagos con un 64% y la región de Los Ríos con un 62% de población rural.

Fue en el año 1964, que el Ministerio de Obras Públicas creó el Programa de Agua Potable (APR) con el objetivo de abastecer a las poblaciones rurales. (Fernández, 2022) y solucionar los problemas sanitarios y el déficit de suministro de agua potable en áreas rurales con alta concentración poblacional. El programa se aplica en localidades con una población que varía entre 150 y 3000 habitantes y una densidad habitacional mínima de 15 viviendas por kilómetro de red. A la fecha, el Departamento de Programas Sanitarios, que forma parte de la Dirección Nacional de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas, se encarga de la gestión del programa (Cariola & Alegria, 2004).

Cuando iniciaron las reformas en 1988 en el sector sanitario, se modernizó al igual que los sectores de electricidad y telecomunicaciones, donde la participación privada representaba aproximadamente el 100% de las entidades. Sin embargo, no se consideró incluir el programa de agua potable en las empresas sanitarias privatizadas. Debido a esto, desde entonces, la Dirección Nacional de Obras Hidráulicas (DOH) ha sido responsable de ejecutar anualmente el programa mediante la “Ley de Presupuesto”.

La Ley de Presupuesto del programa de Agua Potable Rural establece que el Ministerio de Obras Públicas solo puede invertir en proyectos de suministro de agua potable en zonas rurales. Sin embargo, también le otorga la facultad para actuar como unidad técnica en el desarrollo de proyectos de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas cuando es encargado por otros organismos como municipalidades o gobiernos regionales. Además, la Ley permite que el MOP se encargue del mantenimiento de redes de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas servidas instaladas en sistemas de agua potable rural. Hasta la fecha, se han construido más de 400 plantas de tratamiento de aguas

servidas con diversas tecnologías y redes de alcantarillado en sistemas de APR. Estos sistemas de tratamiento y disposición de aguas servidas se han implementado principalmente a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional y espera que los Comités y Cooperativas operen y realicen el mantenimiento correspondiente (DOH, s.f.).

Los organismos responsables del programa de Agua Potable Rural (APR) son los comités y cooperativas de APR. Estos organismos se encargan de la administración, operación, y mantenimiento de la infraestructura, a través de una licencia otorgada por tiempo indefinido. Además, existen otros sistemas de APR que se financian con recursos diferentes a los asignados por el sector, como el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), recursos privados, el Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial (PIRDT), el Fondo Presidente de la República del Ministerio del Interior, entre otros (Fernández, 2022).

Las Cooperativas y Comités proporcionan agua potable a las áreas rurales, tienen mayor nivel de formalidad en comparación con otras cooperativas rurales. Estas entidades están reguladas por el Ministerio de Salud en términos de la calidad del servicio y se espera que sean supervisadas por el Ministerio de Economía. La función de las cooperativas y comités de agua potable rural han tenido un impacto significativo en la organización social de las comunidades rurales, destacando los valores de solidaridad y participación, además de fomentar el desarrollo de otras organizaciones. Estos Comités tienen la responsabilidad de operar las plantas y supervisar los procesos de ingeniería, para garantizar un suministro adecuado de agua potable a las localidades rurales en términos de calidad, cantidad y continuidad del servicio. Se constituye una Asamblea como la principal autoridad del Comité, compuesta por todos sus miembros afiliados. No buscan obtener beneficios económicos, tienen personalidad jurídica y sus miembros no están obligados a mantenerse como afiliados (Fernández, 2022).

Por otro lado, un elemento fundamental en la estructura organizativa del Programa de APR es la Unidad Técnica, que opera a nivel regional y se compone principalmente de la Empresa Sanitaria de la región, contratada por el Departamento de Obras Hidráulicas. Estas entidades son contratadas con el propósito de brindar asesoramiento y, como tal, son responsables de la implementación del proyecto, así como proporcionar apoyo técnico al Comité de APR durante la operación del proyecto ejecutado (DOH, s.f.).

La Subdirección de Agua Potable Rural tiene diversas responsabilidades, que incluyen la instalación de nuevos sistemas; proyectos para mejorar, ampliar y

reponer la infraestructura existente, así como la ejecución de un Plan de Conservación de los sistemas de agua potable rural. Además, debido a las variaciones de lluvia, principal fuente de agua fresca para los sistemas, la APR es responsable de implementar proyectos de Emergencia por Sequía.

Las etapas de los Servicios Sanitarios Rurales comprenden la generación y suministro de agua potable, la captación de aguas residuales, así como el tratamiento y eliminación final de las aguas residuales tratadas. Se otorga una licencia conjunta para todas estas etapas. Además, estas licencias permiten el uso gratuito de los bienes nacionales, como calles y espacios públicos y pueden imponer la creación de servidumbres para el beneficio de otros terrenos. El operador tiene la capacidad de construir o instalar infraestructura de servicios sanitarios rurales, siempre y cuando no se modifique de manera permanente su naturaleza y propósito (Fernández, 2022).

Hasta ahora, el enfoque del esfuerzo de abastecimiento de agua potable en áreas rurales se ha concentrado en localidades que cuentan con un número significativo de viviendas, incluso si están dispersas por el territorio, lo que permiten una solución eficiente para el suministro. Este enfoque se ha aplicado a las localidades rurales que se consideran “rural concentrada”. Y con el tiempo, el criterio de “concentración” ha evolucionado, ajustándose a la densidad requerida para ser considerada “concentrada” a medida que se cumplen los objetivos del programa (Cariola & Alegria, 2004).

A pesar del éxito del programa de abastecimiento de agua potable en localidades concentradas y semiconcentradas, aún existen muchas viviendas aisladas en el país que carecen de este servicio. Sin embargo, el financiamiento para mejorar el suministro de agua potable en áreas dispersas se vuelve cada vez más costoso y socialmente no rentable. Además, no es posible reducir los estándares técnicos establecidos, ya que cumplen con una solución básica y de bajo costo que garantiza la calidad y continuidad en la red de distribución, cumpliendo así los criterios técnicos requeridos (Cariola & Alegria, 2004). En localidades semiconcentradas se ha alcanzado una cobertura del 6,5%. El incremento de la cobertura comenzó a observarse a partir del año 2010 y se espera alcanzar el 100% para el año 2016 (DOH, s.f.).

En el año 2015, Chile se comprometió como miembro de la Organización de Naciones Unidas a cumplir con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Desde entonces, se han llevado a cabo múltiples intervenciones con el fin de cumplir con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. De esta manera, se ha fortalecido la estructura institucional a través de la creación del Consejo Nacional encargado de implementar la Agenda 2030 y la formación de

Comisiones y Grupos de Trabajo Técnico-Sectoriales en ámbitos sociales, económicos y ambientales. Para alcanzar la meta 6.1 que se refiere al acceso universal del agua potable se ha implementado el Programa de Agua Potable Rural como objetivo de suministrar agua potable a las comunidades rurales. Junto a ello en la meta 6.2 recibe apoyo por el Programa de Saneamiento Sanitario (PSS), que brinda apoyo a los Gobiernos Regionales en la mejora del sistema alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales, entre otras. Asimismo, para cumplir con la meta 6.4, que tiene como misión aumentar la eficiencia del uso del agua implementando la Ley de Riego entre otros programas para fomentar la eficacia en el riego (CEPAL, 2020).

Para el Gobierno, la meta de obtener un 100% de cobertura en agua potable y alcantarillado al año 2000 y un 100% de tratamiento de las aguas servidas al año 2010, exigían un alto nivel de inversiones en los siguientes años, además de emprender proyectos de mayor complejidad tecnológica y de gestión, para lo cual era necesario la participación del sector privado. Esta participación del sector privado, a juicio del Gobierno, hacía necesario un marco regulatorio claro y estable en lo normativo y fuerte en lo institucional, que estuviera operando en forma previa a la incorporación del sector privado en el sector sanitario (Cariola & Alegria, 2004).

2.4. Estado del Sistema Alcantarillado

El crecimiento constante de la población y la urbanización han ocasionado una impermeabilización del suelo y en el ciclo natural del agua. Ambos problemas dan lugar a la necesidad de invertir en colectores de mayor tamaño y el tratamiento de las aguas lluvias por la contaminación. Por otro lado, el sistema sanitario y de drenaje de aguas lluvias se hacen insuficientes ocasionando colapsos en el sistema. (Biblioteca del Congreso Nacional, 2018).

En Chile, se implementó la Ley 19.525 que establece que las redes de aguas lluvias deben estar separadas de las aguas servidas, sin embargo, aún hay sistemas antiguos en el cual dichas redes están unidas. Considerando el crecimiento de las ciudades, las redes de saneamiento y drenaje de las ciudades a menudo no logran ser suficientes para evacuar apropiadamente el agua lluvia, especialmente durante lluvias intensas. Por ende, se generan vertidos no controlados que contaminan el entorno receptor, cuyos vertidos crean una presión en los ecosistemas acuáticos, debido a la presencia de metales pesados y por sedimentos de la red de colectores (Biblioteca del

Congreso Nacional, 2018). El principal problema de contaminación de aguas superficiales es debido al colapso del sistema en temporada de lluvias.

Según la Biblioteca del Congreso Nacional (2018), hay que tomar especial atención a las aguas lluvias, debido a sus niveles altos de contaminación, no deberían estar conectadas a las alcantarillas, ya que pueden afectar las plantas de tratamiento y sobrecargar las redes de saneamiento y ser la causa de inundaciones.

En diferentes ciudades se han buscado soluciones para abordar los problemas asociados a las aguas pluviales, que incluyen aspectos normativos-legislativos, económicos y sociales. Como ejemplo: se han creado nuevos espacios para la coordinación para desarrollar marcos normativos a nivel territorial, establecer una nueva legislación con respecto a las aguas lluvias, se han aplicado herramientas económicas para garantizar la sostenibilidad económica y se han incentivado relaciones con el agua lluvia que sean nuevas. Se busca como objetivo contar con ciudades sostenibles a largo plazo, por consiguiente, se deben buscar espacios para la innovación y la investigación de nuevas tecnologías para el sistema sanitario y de drenaje de las ciudades, de tal manera que se busque crear nuevas estrategias que vayan más allá de los sistemas actuales.

Un problema con las redes de alcantarillado es el cobro por el servicio, ya que se basa en la recolección y disposición de aguas residuales, las cuales pueden ser o no tratadas. Para determinar las tarifas, debido a que no se puede medir el volumen de aguas residuales domiciliarias que se vierten al sistema alcantarillado, se toma en cuenta que el volumen descargado es igual al volumen de agua potable consumida. Sin embargo, de acuerdo con el Art. 14º, D.S. MINECON N° 453/89 - Reglamento de la Ley de Tarifas el valor de la tarifa de alcantarillado se toma en cuenta que no toda el agua consumida es parte de la descarga del sistema alcantarillado. El cálculo de la tarifa corresponde por empresa, pero en promedio se considera entre el 52 al 80% del agua consumida se vierte a la red de alcantarillado (Biblioteca del Congreso Nacional, 2018). De tal manera, que a pesar que tomen ciertos porcentajes el gasto es desigual entre viviendas o dependiendo de la localidad.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1. El Agua

El agua es un elemento que se compone de moléculas que tienen un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Puede encontrarse en diferentes estados de la materia: sólido a temperaturas bajas de (-0°C), líquido a temperaturas medias de aproximadamente (20°C), y gaseoso a altas temperaturas de más de 100°C . Además, el agua se caracteriza por ser inodora e insípida, es decir no tiene olor ni sabor (Alayo & Franklin, 2019).

Es un elemento esencial para la vida en la Tierra y se puede clasificar en dos grandes grupos: agua salada y agua dulce. Estas dos categorías se diferencian por sus características naturales (Echaide, 2018).

3.1.1. Fuentes de Agua

- Fuentes superficiales: Estas fuentes de agua son resultado de las precipitaciones, la desglaciación o el escurrimiento de agua por laderas, que se acumulan o fluyen sobre la superficie terrestre.
- Fuentes subterráneas: Estas fuentes de agua se encuentran bajo la superficie terrestre y son alimentadas por el deshielo de los glaciares, la acumulación de aguas lluvias o la filtración natural del agua del mar.
- Fuentes Pluviales: Estas fuentes de agua provienen de las precipitaciones de lluvia, las cuales son recolectadas y almacenadas en laderas o pozos naturales (Alayo & Franklin, 2019).

3.1.2. Agua Potable

El agua potable debe ser apta para el consumo humano y para el uso doméstico común, así como la higiene personal, debe estar libre de microorganismos perjudiciales para la salud de las personas (Robert, 2014).

Debe cumplir con los estándares establecidos en la norma chilena NCh 409, la cual define los requisitos de desinfección bacteriana, así como los criterios físicos, químicos y radioactivos. Las entidades proveedoras del servicio están obligadas a suministrar agua potable que cumpla con estas regulaciones a sus clientes (SISS, s.f.). Además, la norma establece los requisitos de calidad para

el agua potable para todo el territorio nacional y establece estándares para el muestreo de cualquier servicio de abastecimiento de agua potable.

Según la asociación nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (Andess AG) cuya asociación gremial reúne 22 empresas privadas de agua potable del país y cuyo compromiso de priorizar el consumo humano y el derecho al agua potable y al saneamiento que cada año a nivel nacional se llevan a cabo más de 1 millón de controles para garantizar la efectividad del proceso de potabilización. Los controles incluyen análisis en las fuentes de abastecimiento del agua potable, tanto subterráneas como superficiales, así como en plantas de tratamiento y en redes de distribución. Se llevan a cabo muestreos constantes y las muestras son analizadas en laboratorios certificados. Además, las entidades encargadas del suministro deben supervisar la recolección de muestras en la red de distribución (Andess, s.f.).

3.1.3. Calidad de Agua Potable

Para garantizar la calidad del agua potable que se suministra a la población, es necesario cumplir con los siguientes parámetros de control y características:

- Características Físicas: Son aquellas que se pueden percibir a través de los sentidos, como la vista, el olfato y el gusto que influyen en la aceptabilidad del agua. Estas características incluyen el color, el olor, el sabor, la temperatura, el pH (debe estar en un rango entre 6 y 8) y la turbidez del agua.
- Características Químicas: Se realiza un análisis para determinar la presencia de compuestos químicos en el agua, ya sean de origen natural o industrial, que puedan tener efectos beneficiosos o perjudiciales para la salud, dependiendo de su nivel de contaminación. Algunos de los compuestos que se evalúan incluyen el aluminio, el plomo, el hierro, el fluoruro, el cobre, el cloruro, los sulfatos, los nitritos y nitratos.
- Características Biológicas: Es necesario analizar la cantidad de microorganismos en conjunto con las características físico-químicas del agua. Esto implica evaluar tanto la temperatura como el pH, ya que estas características determinan un nivel óptimo para el crecimiento de los microorganismos. Para determinar la cantidad de los microorganismos en el agua, se realizan análisis de algas, bacterias, hongos, mohos y levaduras en el agua (Alayo & Franklin, 2019).

El 90% de las intoxicaciones y enfermedades transmitidas por el agua son resultado de la contaminación de microorganismos presentes en la fuente de agua (Robert, 2014). La contaminación del agua representa una amenaza para la salud de las personas, por lo cual se llevan a cabo estudios para establecer criterios de calidad de agua y determinar parámetros que indiquen su potabilidad. Para evaluar la calidad del agua, se utilizan microorganismos que son indicadores de contaminación, ya que ayudan a detectar cambios o alteraciones en el agua. Estos microorganismos indican la idoneidad del agua, tales como, bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, pero deben cumplir con ciertos requisitos, como ser fácilmente aislables y cultivables en laboratorios, así como ser relativamente inocuos para los seres humanos y los animales. Entre los indicadores biológicos utilizados para evaluar la calidad de agua potable se encuentran los coliformes fecales, coliformes termo tolerantes y la bacteria *Escherichia Coli*, además de otros macro indicadores (García & Iannacone, 2014). A continuación, se presentan algunos indicadores de calidad de agua potable:

- Coliformes totales: Son microorganismos que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, son bacilos Gram negativos que pueden sobrevivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno. No forman esporas y tienen la capacidad de fermentar la lactosa a 35°C, lo que resulta en la producción de gas y ácido láctico en un periodo de incubación de 24 a 48 horas. Estos bacilos se encuentran presentes en el intestino de los seres humanos y animales con aproximadamente un 10%. Además, pueden encontrarse en grandes cantidades en fuentes de agua, vegetación y suelos, sin estar necesariamente asociados a la contaminación fecal, no representando un riesgo evidente a la salud. Sin embargo, cuando se encuentra la presencia de este microorganismo en grandes cantidades es un indicador de degradación en los cuerpos de agua. Su presencia en aguas tratadas es un indicador de contaminación, sugiriendo que ha habido fallas en el sistema de tratamiento, distribución o en las fuentes de agua.
- Coliformes fecales o termotolerantes: Son un subgrupo de bacterias que pertenecen al grupo de coliformes, por lo que se pueden encontrar en el intestino de animales y seres humanos. De origen principalmente fecal, tienen la capacidad de fermentar la lactosa, produciendo gas y ácidos de $(44,0 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ en un periodo de incubación de 24 horas. Podemos encontrar la bacteria *Escherichia coli* y en menor cantidad especies de los géneros *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*, las que indican la

eficiencia y garantizan que el proceso de tratamiento del agua potable para eliminar bacterias fecales funciona correctamente.

- *Escherichia coli*: Es una bacteria indicadora de contaminación fecal, ya que se encuentra exclusivamente en el intestino de humanos y animales. Produce indol a partir de triptófano, oxidasa negativa y no hidroliza la urea, investigaciones demuestran que tiene concentraciones aproximadamente entre 10^8 y 10^9 unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de heces. Esta bacteria está asociada a diversas enfermedades patológicas.
- Microorganismos heterótrofos: Se encuentran en el agua, incluyendo el agua tratada y los grifos. Tienen una capacidad de adaptación sobreviviendo a diversas condiciones de presencia o ausencia de oxígeno, permaneciendo por largos periodos de tiempo en el agua en comparación con otros microorganismos. Es un indicador de la carga total bacteriana de tal manera que es más fácil determinar la cantidad de bacterias viables en 37°C después de un tiempo de incubación de 48 horas, los resultados de las muestras se estiman en Unidades formadoras de colonias, empleando este indicador en conjunto con el índice de coliformes para determinar la eficiencia de procesos o la calidad en el tratamiento de agua, desinfección o descontaminación de estas.
- *Clostridium perfringens*: Se encuentra en suelos y aguas contaminadas y no se comprende solamente en fecales, es una bacteria esporulada que resiste altas temperaturas, sequedad, pH, y falta de nutrientes extremos. Su presencia es indicadora en el agua potable señala fallos en los sistemas de tratamientos, a causa de la alta resistencia, sus esporas son indicadoras de la presencia de quistes de protozoarios.
- Virus: Constituidos por material genético, ya sea desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN), junto con proteínas. Los virus asociados a enfermedades por transmisión de agua en su mayoría son los virus entéricos, que se replican en el intestino del ser humano, y su presencia en las heces están en grandes cantidades además que tienen la capacidad de sobrevivir por un gran periodo de tiempo en el medio ambiente.

El poliovirus se considera como un indicador viral entérico, pero su presencia en el agua, es en bajas cantidades por lo que es necesario otro indicador fácil y rápido para detectar. Dentro de estos indicadores se encuentran los colifagos somáticos y colifagos F específicos, abundantes

en aguas residuales y aguas contaminadas. Son de fácil aislamiento debido a que los colifagos no pueden replicarse fuera del huésped. La utilización de los colifagos en comparación con los coliformes fecales varía en que estos últimos tienden a desaparecer rápidamente, y los primeros representan de manera más precisa los niveles de *Salmonella*.

Otro indicador, es el grupo fago que infectan a *Bacteroides fragilis*, se asocian con la materia fecal y son resistentes a condiciones ambientales. Se utilizan dos grupos: Uno que utiliza como hospedador a la cepa HSP40, que se encuentra exclusivamente en las heces humanas y el otro se utiliza para la cepa RYC2056, presente tanto en heces humanas como de otros animales. Los pasos en la eliminación de estos virus dependen de un tratamiento apropiado y una desinfección del agua apta.

- Parásitos: Se consideran patógenos para el ser humano y se dividen en dos categorías: protozoos y helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares que incluyen una forma vegetativa (llamada trofozoito) y una fase resistente (llamada quiste). La forma de quiste es resistente a la inactivación por los sistemas de tratamiento de aguas conocidos. Ejemplos de protozoos patógenos incluyen *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* y *Balantidium coli*, los sistemas de tratamiento buscan la eliminación de los quistes de los protozoarios en el agua. Los helmintos comprenden tres grupos principales: los nematodos, trematodos y cestodos. A diferencia de otros organismos, no se reproducen ni aumentan su población fuera del huésped. Esta característica los convierte en indicadores, ya que la cantidad de helmintos no varía en el tiempo. Un ejemplo para un helminto indicador es la *Ascaris lumbricoides* que se caracteriza por su capacidad de persistir durante el tiempo, su identificación sencilla y su fácil infección.

3.1.4. Captación de agua potable

Se considera la infraestructura construida en un lugar elegido como fuente de agua que permita recolectar el agua, para ser posteriormente transportada mediante tuberías hacia un depósito de almacenamiento. El tipo de captación va a depender del tipo de fuente de agua, la calidad y cantidad. Junto a ello el diseño de la estructura varía según el tamaño de la comunidad (Alayo & Franklin, 2019).

3.1.5. Red de distribución de agua potable

Se realiza mediante conductos de aguas, conocidas como la red de tuberías que se encuentran instaladas subterráneamente debajo de calles y aceras. Sin embargo, esta infraestructura no se limita únicamente a las tuberías, sino que incluye los depósitos de los servicios y las estaciones de bombeo de agua (Monzón & James, 2017).

Las descargas de aguas deben ser adecuadas para el uso máximo y mínimo de las personas, con el fin de que las condiciones estén cubiertas, contando con suficiente presión para abastecer la localidad y con una línea principal que esté ubicada en los puntos más elevados como preferencias (Alayo & Franklin, 2019).

3.1.6. Aguas Grises

En Chile, las aguas grises se consideraban como “aguas servidas”, al no estar especificadas en el DFL N°382, artículo 3° (Ley General de servicios Sanitarios) (Baeza, 2023). La única normativa que diferenciaba el término de aguas grises de manera indirecta es la norma NCh 1105 sobre ingeniería sanitaria del Instituto Nacional de Normalización (INN). El año 2010, la Dirección General de Aguas (DGA) propuso una definición general que las incluía como parte de las aguas servidas domésticas que no contienen material fecal ni desagües de la cocina (Baeza, 2017). Fue en 2018 cuando se promulgó la Ley N°21.075, la cual definió las regulaciones para el manejo de recolección, reutilización y disposición de aguas grises (Baeza, 2023). Esto permite su clasificación y reutilización de acuerdo con las directrices establecidas en el reglamento de la ley. De esta manera, las aguas grises pueden ser identificadas según su origen, como se detalla en tabla siguiente:

Tabla N° 1: Clasificación de las aguas grises

Clasificación	Origen
Baja Carga	Duchas, Tinas, Lavamanos.
Media Carga	Lavadoras.
Alta Carga	Cocina y Lavavajillas.

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla N° 1, las aguas grises de baja carga incluyen las provenientes de duchas y lavamanos. Por otro lado, las de media carga provienen de lavadoras, y las de alta carga se originan en la cocina y lavavajillas. En ciertos países con normativas y estándares para las aguas grises, las aguas provenientes de la cocina, lavavajillas y lavadoras se clasifican como aguas grises oscuras, e incluso, en algunos casos, se consideran parte de las aguas negras. Por lo tanto, las aguas residuales domésticas pueden dividirse en aguas grises, aguas grises oscuras y aguas negras (Bellolio, 2023). La clasificación de las aguas grises es fundamental al diseñar el sistema para determinar la cantidad de contaminantes presentes en el agua a tratar, el cual se detalla más adelante.

3.2. Área de estudio: Región de Valparaíso

La región de Valparaíso se encuentra en la zona central del país, comprendida entre las latitudes 32°02' y 33°57' sur, y los meridianos 70° y 72° Oeste (Biblioteca del Congreso Nacional, 2005). La región tiene una extensión total de 16.396 Km² y alberga una población de 1.815.902 habitantes según el Censo de 2017. En términos administrativos, está conformada por ocho provincias: Isla de Pascua, Los Andes, Petorca, Quillota, San Antonio, San Felipe de Aconcagua, Marga Marga y Valparaíso, Estas provincias están divididas en 38 comunas, estableciéndose como capital regional la ciudad de Valparaíso (Gobierno de Chile, s.f.).

Presenta transición en su relieve y clima, que va desde semiárido o estepárico cálido a un clima templado mediterráneo. La vegetación que posee es diversa debido a una mayor humedad y a un relieve que facilita la generación de sistemas hidrográficos de tipo andino como costero (Biblioteca del Congreso Nacional, 2005).

A continuación, en la Figura 3 se muestra un mapa geográfico del área del estudio.

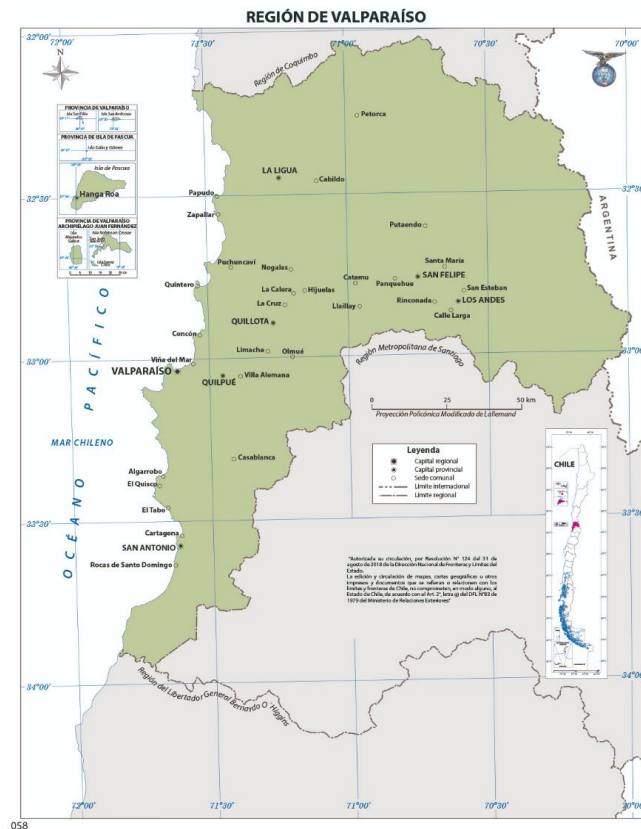


Figura 3: Región de Valparaíso. Fuente: Currículum Nacional (s.f). Mapa región de Valparaíso

Las cuencas hidrográficas en la región de Valparaíso se destacan por ser exorreicas, lo que implica que desembocan en el Océano Pacífico con flujos de agua que pueden ser constantes, estacionales o esporádicos. La principal fuente de agua para los ríos proviene de dos fuentes principales: la fuente fluvial, que se origina a partir de las lluvias resultantes de masas de aire frío procedentes del océano pacífico y que, al combinarse con las características geográficas, dan lugar a precipitaciones; y la fuente nival, se origina en las zonas con altitud, donde los glaciares acumulan hielo que se derrite en los meses más cálidos del año.

Los cinco acuíferos principales en la región son el Río Petorca, el Río de La Ligua, el Río Aconcagua, las Cuencas Costeras y Casablanca. La región enfrenta una escasez de recursos hídricos en sus fuentes superficiales, lo que ha llevado a que la Dirección General de Aguas (DGA) declare los ríos de Petorca y La Ligua como áreas de restricción para la realización de nuevas extracciones subterráneas de agua (Rico Amorós, 2004).

3.3. Cambio Climático

El cambio climático se refiere a modificaciones en el clima que alteran la composición de la atmósfera global y que pueden ser atribuidas directa o indirectamente a la actividad humana. Estas modificaciones se suman a la variabilidad natural del clima, la cual se observa durante periodos de tiempo comparables (Ministerio del Medio Ambiente, 2021). Según el Reporte Especial de Calentamiento Global de 1,5 °C, se espera que el calentamiento alcance el 1°C, y con la contribución de los gases de efecto invernadero, esta cifra aumente a 1,5°C, con una proyección para los años 2030 a 2052.

Los gases de efecto invernadero, conocidos como GEI, forman parte de la atmósfera y tienen un origen tanto natural como antropogénico. Estos gases absorben y emiten radiación hacia la superficie de la tierra, así como hacia la atmósfera y las nubes, según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Los principales GEI presentes en la atmósfera terrestre son el vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), y ozono (O_3). Además, entre los gases de efecto invernadero generados por actividades humanas se encuentran los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro.

Chile se encuentra altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que cumple con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad establecidos por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Estos criterios incluyen áreas costeras de baja altura, zonas áridas y semiáridas, zonas con cobertura forestal y expuestas al deterioro forestal, zonas propensas a los desastres naturales, zonas expuestas a sequías y desertificación, zonas de alta contaminación atmosférica urbana y zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los ecosistemas montañosos (Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

Según las declaraciones del académico Manuel Contreras, se confirma que la región de Valparaíso, dentro del territorio chileno, es la más vulnerable frente al cambio climático. Esto se debe al aumento de las temperaturas, el incremento del nivel del mar y de la temperatura en los océanos, así como a las inundaciones en el borde costero. Además, la región se enfrenta a sequías, incendios forestales, remociones en masa por deslizamiento y mareas altas causadas por el oleaje. La disminución de las precipitaciones se ha reflejado en más de 15 años de sequía en Petorca y La Ligua, lo que ha dado lugar a bajas

temperaturas, disminución de los acuíferos y reducción de la disponibilidad hídrica (Contreras, 2016).

3.4. Crisis Hídrica

La escasez hídrica en Chile ha ocasionado que aproximadamente un millón de personas y más de 383.204 viviendas no cuenten con acceso a agua potable. Al carecer del recurso las comunidades tienen un impacto en el desarrollo económico, educativo, sanitario e igualdad de género, ya que al no poseer infraestructuras adecuadas de redes de distribución las comunidades enfrentan dificultades para salir de la pobreza. En la actualidad, el país vive la deficiencia hídrica más considerable y de largo periodo de tiempo de la historia, afectando con mayor impacto a las zonas entre las regiones de Atacama y la Araucanía (Fernández, 2022).

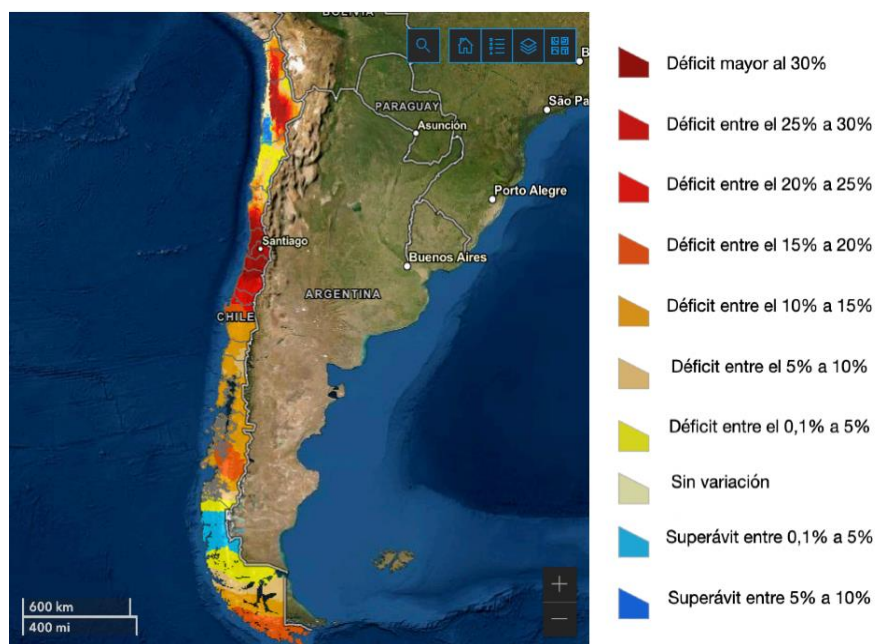


Figura 4. Visor territorial de sequía en Chile. Fuente: Fernández (2022). Evaluación de la Institucionalidad Española para la Gobernanza y Gestión en el Saneamiento de las Aguas Servidas en Zonas Rurales en Chile

La crisis climática ha provocado en el país la sequía más prolongada de los últimos 13 años (Fernández, 2022). Desde el año 2010, se ha experimentado una falta de lluvias constante, conocida como la mega sequía. Además, cada

año se han registrado nuevos récords de temperatura, lo que ha contribuido a un aumento en el déficit hídrico debido a la evapotranspiración (Universidad de Chile, 2022).

El impacto del desbalance hídrico se ve reflejada en los siguientes datos:

- Se ha registrado una disminución en las precipitaciones que varía entre el 60 y 80% del promedio histórico (Fernández, 2022). El déficit de precipitaciones ha sido una característica constante en la zona central desde el año 2010. En Santiago, el nivel de falta de lluvias llega al 44%, mientras que en Curicó es del 40% y en Chillán del 30% (Universidad de Chile, 2022). En la región de Valparaíso, el pronóstico de precipitaciones muestra un déficit similar, superando el 30% según se puede observar en la Figura 4. Estos índices reflejan la escasez de lluvias en la región, lo cual tiene un impacto significativo en las principales fuentes de abastecimiento de agua. Es importante tomar medidas y llevar a cabo proyectos para abordar el desequilibrio hídrico.
- La acumulación de nieve ha experimentado un déficit que supera el 85% (Fernández, 2022). Según estudios, se ha demostrado que el calentamiento global experimentado en las últimas décadas tiene un fuerte impacto en todas las reservas de aguas congeladas a nivel mundial, como los casquetes polares, el hielo oceánico, los glaciares de montaña y la nieve estacional. En la zona central de Chile, que se caracteriza por tener un clima mediterráneo, los cambios en la dinámica del manto de nieve estacional son relevantes, ya que representan aproximadamente el 75% de la escorrentía anual. Estos cambios tienen repercusiones en los ecosistemas, la producción agrícola y el suministro de agua para la población (Universidad de Chile, 2022).
- Los embalses, que son una fuente principal de agua, se encuentran actualmente solo al 34% de su capacidad total (Fernández, 2022). De acuerdo con las proyecciones sobre el cambio climático, se espera que Chile experimente incrementos en la temperatura y una reducción en las precipitaciones en gran parte del país. Como consecuencia, se prevé una disminución del caudal medio anual de los ríos de hasta un 50% (Universidad de Chile, 2022).

La región de Valparaíso ha enfrentado desafíos ocasionados por la sequía que afecta la zona centro norte de Chile. En el año 2021, se observó una disminución general de los caudales de los ríos, principalmente debido a la escasez de lluvias, con incrementos registrados solo en algunos ríos entre las regiones Metropolitana y O'Higgins, como consecuencia de los deshielos

provocados por las altas temperaturas. A pesar de esto, los caudales de los ríos de Chile continuaron por debajo del promedio, con la excepción de un río en la región de Magallanes. Además, se pronostica una disminución en los volúmenes de los embalses. En términos generales, los embalses presentaron un déficit de volumen del 24.3% en comparación con sus promedios. Los embalses mixtos registraron el mayor déficit, con un 47.9%, seguidos por los embalses exclusivamente dedicados al riego, con un 44.8%, representando el 55% del volumen promedio total. Los embalses destinados al suministro de agua potable presentaron un déficit del 21.0%, mientras que los embalses destinados a la generación de energía fueron los únicos con un superávit del 9.6%. Actualmente, el almacenamiento total de los embalses representa solo el 42.4% de su capacidad total (ESVAL, 2021). En la región de Valparaíso, se ha observado que el río Petorca mantiene un nivel estable y que muchos pozos se encuentran secos. Por otro lado, en el río La Ligua se han notado fluctuaciones en sus niveles, con recuperaciones durante la temporada de invierno, aunque cada año estas han sido menos significativas. Respecto a la cuenca del río Aconcagua, se ha observado una tendencia a la disminución de los niveles a una tasa de 1.5 metros por año.

Como resultado, se implementaron diversas medidas relacionadas con la gestión del agua, así como la declaración de áreas restringidas para nuevas extracciones de aguas subterráneas, los sectores hidrogeológicos que comparten el uso del agua son: estero Guaquen, sector Catapilco- Subsector estero Catapilco, estero de Viña del Mar, estero Casablanca Desembocadura, sector Punta Gallo, estero San José.

El informe ambiental del Plan Regional de Ordenamiento Territorial de la región de Valparaíso considera solo el área continental. Se han establecido áreas de restricción para nuevas extracciones de agua subterránea en varios sectores hidrogeológicos compartidos, como estero Los Molles, Catapilco-Subsector La Canela, Quintero-Subsector Pucalán, Quintero Subsector Mantagua, estero Laguna Verde, Quintay, estero El Membrillo, estero El Rosario y El Tabo. Estas restricciones se aplican en comunas como La Ligua, Zapallar, Quintero, Valparaíso, Casablanca, Algarrobo, El Quisco, El Tabo, y Cartagena, entre otras. Además, algunas áreas, como la cuenca del estero El Membrillo y la primera sección del río Aconcagua y el río Putaendo y sus afluentes, se han declarado como zonas de prohibición o agotamiento para la constitución de nuevos derechos de uso de agua (Gobierno Regional Región de Valparaíso, 2015).

Según el Reporte de Sostenibilidad de ESVAL, el agua de fuentes superficiales, como ríos (Aconcagua, Petorca, La Ligua y Maipo) y embalses (Los Aromos y

Peñuelas), es obtenida a través de bocatomas; el agua de fuentes subterráneas es extraída a través de sondajes, drenes, norias o sistemas de punteras. Durante 2021, el 42,95% del agua captada fue superficial y el 57,05% fue subterránea, en tanto que en 2020 este porcentaje había sido 41,76% y el 58,24% subterráneo. Esto debido a la menor disponibilidad de agua a causa de la extrema sequía que se viene experimentando en la zona hace más de una década y el bajo caudal del río. Considerando las razones antes mencionadas, el volumen total de agua captada en 2021 fue 176.038.508 m³, en tanto que en 2020 había sido 169.717.973 m³ (ESVAL, 2021).

3.5. Camiones Aljibes

En Chile, el abastecimiento de agua potable se lleva a cabo a través de empresas sanitarias y sistemas de agua potable rural. Sin embargo, en muchas comunidades, el acceso a este recurso es limitado debido a la escasez de agua. En estos casos, las poblaciones dependen de fuentes externas, como camiones aljibes, para satisfacer sus necesidades. Deben solicitar un requerimiento de decreto de emergencia al Ministerio del Interior, quien aprueba o rechaza dicha solicitud.

Una vez aprobada la solicitud, dicho ministerio a través de la SUBDERE, asigna los recursos a la Gobernación, la cual contrata una entidad proveedora de camiones aljibes para la distribución del agua potable. La administración de este servicio recae a la municipalidad correspondiente, con la colaboración de los vecinos. La frecuencia del servicio varía de siete a quince días, dependiendo de las distancias entre localidades y los sistemas de suministro de agua potable.

Actualmente, son diez las regiones que dependen de camiones aljibes para el abastecimiento de agua para sus comunas. En las regiones más afectadas se encuentran el Biobío, La Araucanía y Coquimbo, que representan un 66% del gasto público destinado a este fin. En cuanto a los costos, se estima que en los últimos años el gasto del servicio corresponde a 150.000 millones de pesos chilenos. Sin embargo, existen otras fuentes que indican que el gasto podría ser en torno a los 92.000 millones de pesos chilenos en los últimos seis años (Fernández, 2022).

3.6. Captación de agua lluvia

La captación de aguas lluvias es una técnica que permite obtener agua para el consumo humano y uso agrícola en áreas donde no hay disponibilidad o escasez de agua dulce superficial (Gualdron ,2014).

3.6.1. Los sistemas de captación de aguas lluvias

Un sistema de captación de agua lluvia implica principalmente la captura y almacenamiento del agua pluvial para su posterior uso. Por lo general, el agua lluvia se capta mediante los techos o azoteas y se recolecta a través de tuberías o canaletas para ser almacenada en tanques exclusivos (Acosta et al., 2018).

Entre los diversos sistemas de captación de agua lluvia se pueden establecer dos categorías: Sistemas activos y sistemas pasivos los cuales se pueden ver en la tabla N° 2.

Tabla N° 2: Categorías de sistemas de captación de agua lluvia.

Sistemas Activos	Sistemas Pasivos
Los sistemas activos o complejos son aquellos en los que se emplea algún tipo de sistema para captar, almacenar y distribuir el agua (Acosta et al., 2018). Por ende, se hace uso de estructuras de almacenamiento que retienen el agua pluvial para su posterior uso. Este tipo de sistemas puede incluir la utilización de tuberías, canaletas, bombas hidráulicas y sistemas de filtración, lo que puede resultar en un mayor en comparación con los sistemas pasivos (Pizarro et al., 2015).	Se tratan de sistemas simples que se adaptan o ajustan al entorno captar e infiltrar el agua de escorrentía en el suelo, con el propósito de dirigirla hacia el riego de vegetación (Acosta et al., 2018). Algunos elementos que contribuyen a la utilización de agua de lluvia incluyen jardines pluviales, biofiltros, pavimentos permeables y áreas arboladas. Estos sistemas son conocidos como infraestructura verde o desarrollo de bajo impacto, ya que no requieren de la utilización de bombas o tuberías, lo que reduce tanto el impacto como el costo asociado.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Uso del agua lluvia

Según el artículo 10 del DFL 1122 que corresponde al Código de Aguas (Ley No. 21652), se establece lo siguiente “El uso de las aguas pluviales que caen o se recogen en un predio de propiedad particular corresponde al dueño de éste, mientras corran dentro de su predio o no caigan a cauces naturales de uso público. En consecuencia, el dueño puede almacenarlas dentro del predio por medios adecuados, siempre que no se perjudiquen derechos de terceros”. Asimismo, el artículo 11 del mismo decreto de fuerza ley establece que “El dueño de un predio puede servirse, de acuerdo con las leyes y ordenanzas respectivas, de las aguas lluvias que corren por un camino público y torcer su curso para utilizarlas. Ninguna prescripción puede privarle de este uso” (Área Técnica Chile Green Building Council, 2021).

Según lo mencionado anteriormente, el artículo 10 del código de agua no impone restricciones para el uso del agua de lluvia con fines personales, siempre que esta sea recolectada dentro del predio del propietario. Asimismo, según el artículo 11, se permite el desvío de las aguas pluviales en caminos públicos.

El agua de lluvia directamente no debería ser usada para el consumo humano, a menos que el sistema esté diseñado cuidadosamente para tal fin, o que posea algún tipo de tratamiento para la remoción de sólidos suspendidos, DBO y DQO, además de un proceso de cloración o filtración, que asegure las óptimas condiciones para ser apta para consumo (Reyes & Rubio, 2014).

3.6.3. Tipos de sistemas de captación

La recolección de agua lluvia ha sido un método utilizado desde la antigüedad en diversas culturas y épocas, por lo que no es un concepto moderno ni requiere tecnologías avanzadas para su implementación. Es considerado un método sencillo para obtener agua para consumo humano como para fines agrícolas, ya que el agua de lluvia puede ser recogida y almacenada en recipientes para su posterior uso (Ulacia, 2024). El uso y la forma de captación de agua dependerá de cada lugar, por lo que existen diversas maneras para su aprovechamiento, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- **Techos Verdes:** Son aquellos techos que permiten la instalación de vegetación con el fin de infiltrar y retener el agua lluvia en el sustrato y la

capa drenante (Área Técnica Chile Green Building Council, 2021). En la figura N° 5 se puede observar un techo verde en un edificio.



Figura 5. Techos verdes. *Fuente: Verdeac (2021). Riego eficiente en techos vegetales con sedums*

- **Estanques de Infiltración:** Se refiere a depósitos poco profundos ubicados en suelos permeables que funcionan como áreas verdes para facilitar la infiltración durante periodos cortos. Además, poseen la capacidad de retener agua en la superficie en caso de precipitaciones que no puedan ser infiltradas de manera rápida. A continuación, se presenta en la figura N° 6, un estanque de infiltración.



Figura 6. Estanques de infiltración. *Fuente: Agua de Barrio (2022). Depósito/ Estanque de infiltración*

Zanjas de Infiltración: Son zanjas largas y profundas, con una profundidad que varía entre 1 y 3 metros. Reciben el flujo de agua de escorrentía desde la superficie o a través de tuberías enterradas para aprovechar al máximo la superficie. Se recomienda que estén revestidas preferiblemente con materiales

como gravilla, piedras u otros elementos que proporcionen protección (Área Técnica Chile Green Building Council, 2021). La figura que sigue ilustra las medidas y como son las zanjas de infiltración.

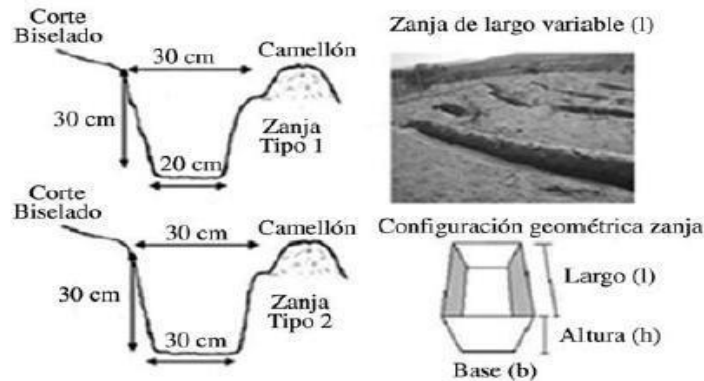


Figura 7. Zanjas de infiltración. Fuente: Pizarro et al. (2008). Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secoano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile.

Pozos de Infiltración: Estos pozos, son puntuales y con una profundidad variable, se utilizan para la infiltración de la escorrentía superficial. Para garantizar su correcto funcionamiento, es necesario que reciban agua de áreas pequeñas con una baja contaminación en la escorrentía. A continuación, en la figura N° 8, se demuestra cómo funcionan los pozos de infiltración en el suelo.

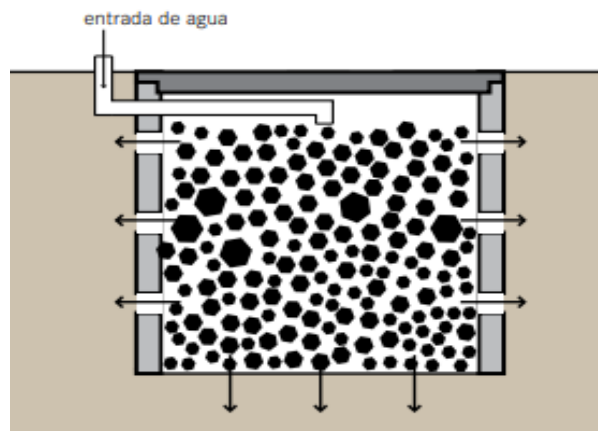


Figura 8. Pozo de infiltración. Fuente: Tilley (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.

Jardines de Lluvia: Estos jardines se ubican en áreas de menor elevación de terreno o diseñados para la infiltración dentro de estanques. El suelo y vegetación tienen una alta capacidad de absorción, lo que permite regular tanto la calidad como la cantidad del agua de escorrentía. Además, almacenan una gran cantidad de agua que luego se drena, se evapotranspira o se evapora de forma natural (Área Técnica Chile Green Building Council, 2021). Los jardines de lluvias pueden ser aplicados de diferentes maneras, de tal manera en la figura N° 9



Figura 9. Jardín de lluvia. Fuente: Noe (2023). *Jardines de Agua comunitarios en Santiago*

Biofiltros: Los biofiltros son áreas cubiertas de vegetación y grava que facilitan el desplazamiento del agua de lluvia de un lugar a otro, al tiempo que reduce el volumen y velocidad de flujo mediante la absorción. Suelen ser empleados como componentes lineales de diseño para calles, avenidas y estacionamientos para dirigir el agua hacia jardines de lluvia, humedales y áreas verdes (Ulacia, 2024). Contribuyendo a evitar deslizamientos de tierra y grandes flujos de agua en las ciudades. A continuación, en la figura N° 10, se presenta un sistema de biofiltro.

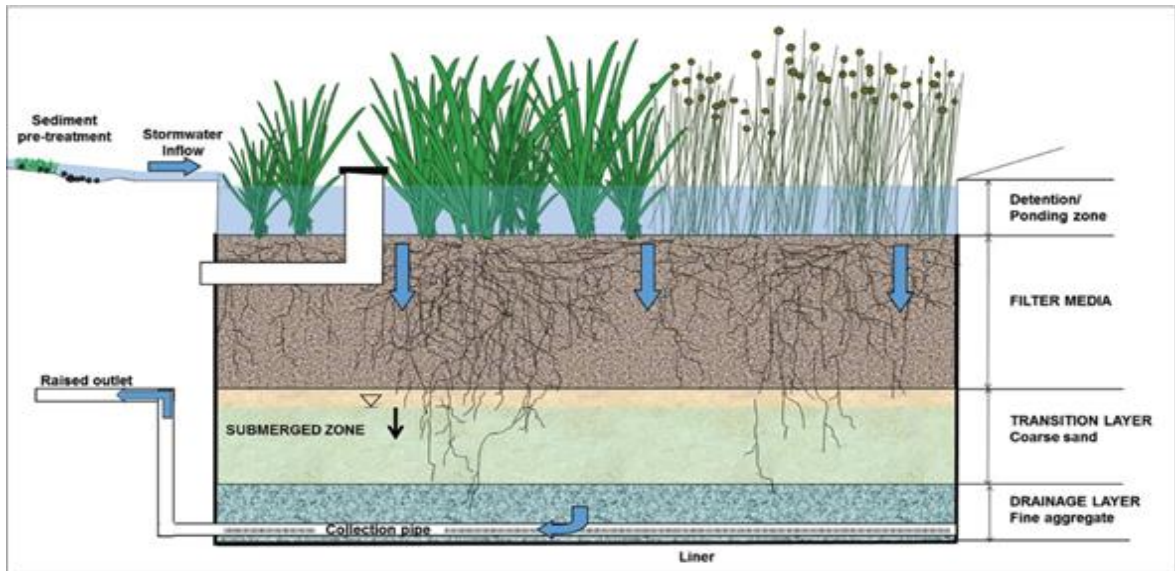


Figura 10. Biofiltro. Fuente: Verde (2021). ¿Qué hacen las plantas en un biofiltro?

Pavimentos Permeables: Los pavimentos permeables son superficies que tienen la capacidad de absorber o permitir la infiltración del agua de lluvia, siendo principalmente empleados en zonas urbanas con dificultades de drenaje. Específicamente, estos pavimentos posibilitan que el agua se filtre a través de su superficie y sea retenida en capas inferiores para su posterior reutilización o eliminación. Existen diversos tipos de pavimentos permeables, así como asfalto poroso, hormigón poroso, césped, gravas, bloques, adoquines, entre otros. Estos pueden ser adecuados para áreas de poco tráfico, calles residenciales, estacionamientos, con una excepción de las áreas industriales por la alta presencia de metales pesados (Toro, 2021). Los pavimentos permeables pueden ser de distintos materiales, a continuación, en la figura N° 11 se muestran las capas que pueden tener este tipo de sistema de captación.

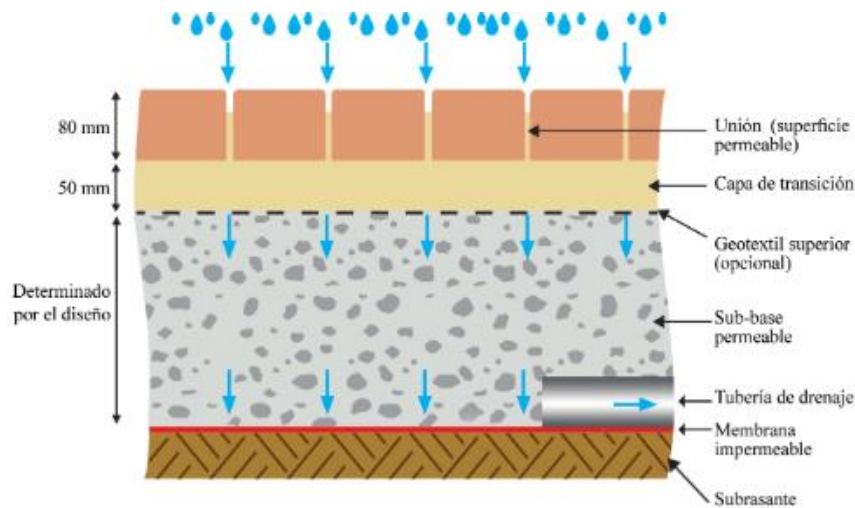


Figura 11. Pavimentos permeables. *Fuente: Gutiérrez et al. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua.*

Macizos de árboles: Los macizos de árboles consisten en agrupaciones y un conjunto de vegetación que forman áreas vegetales que en conjunto promueven la infiltración en el subsuelo y la evapotranspiración en el entorno natural (Ulacia, 2024). Esto permite la captación del agua de lluvia, mejora el paisaje y la creación de ecosistemas. A continuación, en la figura N° 12 se muestra el funcionamiento de un macizo de árboles.

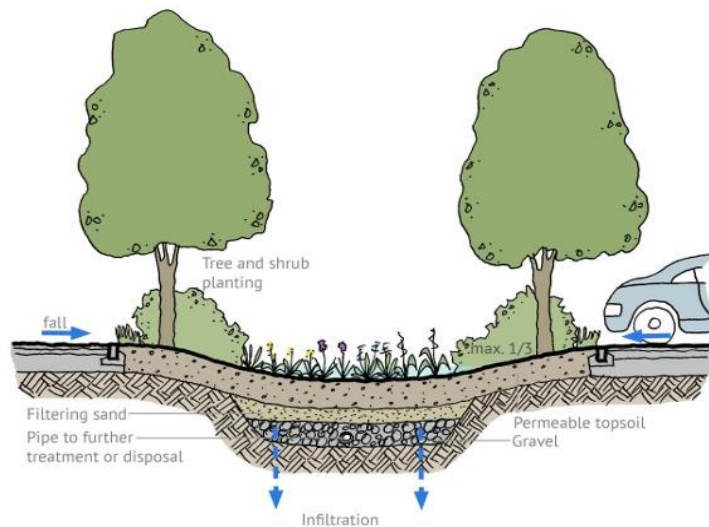


Figura 12. Macizos de Árboles. *Fuente: José Elías Bonells (2020) Uso de los árboles para el manejo de las aguas pluviales.*

Captación de agua en techos: La captación de agua de lluvia es un método que implica la captura y almacenamiento del agua en un lugar específico con el propósito de utilizarla para el riego de cultivos o consumo doméstico (Carrasco et al., 2019). Una de las técnicas para llevar a cabo este proceso es a través de la captación en los techos de las casas, conocida SCAPT (Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos) o SCALL (Sistema de Captación de Agua Lluvia) (OPS, 2020).

Los sistemas básicos de captación de aguas lluvias está conformado los siguientes componentes:

a. Captación: Es la superficie designada para la recolección de agua de lluvia (Palacio, 2010). Esta técnica aprovecha el área superficial de los techos, los cuales deben tener pendientes y superficies apropiadas para permitir el flujo de agua lluvia al sistema de recolección (Gualdron ,2014). Los techos pueden estar contruidos con una variedad de materiales, como tejas de arcilla, madera, paja, cemento, entre otros. Entre los más comunes se encuentran los techos de cemento y teja, debido a su durabilidad y precio accesible, además de proporcionar agua de buena calidad. Sin embargo, no se recomienda utilizar techos compuestos por materiales de asfalto, amianto o aquellos que estén pintados para la captación de agua destinada al consumo humano, debido a la posibilidad de lixiviación de sustancias tóxicas (Palacio, 2010).

b. Recolección: Consiste en un sistema compuesto por canaletas instaladas en los bordes inferiores del techo, cuyo propósito es recolectar y dirigir el agua de lluvia hacia un depósito de almacenamiento. Estas canaletas deben contar con una pendiente para permitir el flujo de agua, además de ser de material ligero, resistentes al agua y fáciles de unir entre sí. Los materiales utilizados pueden variar, como el bambú, la madera o el PVC. El ancho mínimo de las canaletas debe ser de 74 mm, mientras que el máximo es de 150 mm (Palacio, 2010). El tamaño de las canaletas dependerá del área de superficie del techo y de la cantidad necesaria a utilizar, entre otros factores.

c. Interceptor de primeras aguas: Es un dispositivo diseñado para capturar las primeras aguas lluvias, las cuales se utilizan para limpiar el área de captación y evitar la entrada de impurezas en el sistema de almacenamiento. En su diseño, se debe considerar el volumen de agua necesario para el lavado del techo, y una vez utilizado, esta agua puede ser aprovechada para el riego de plantas o jardines. El interceptor se compone de un tanque en el cual ingresa el agua proveniente de las canaletas. En este tanque se encuentra una válvula que impide el paso de agua hacia el interceptor y la dirige hacia el tanque de almacenamiento. Además, debe contar con una válvula de purga en la parte

inferior del tanque, la cual permite realizar el mantenimiento adecuado después de cada lluvia.

d. Almacenamiento: Es el depósito destinado para acumular, conservar y suministrar de aguas lluvias a los diferentes usos, pueden estar contruidos por mampostería, de ferro-cemento, concreto reforzado.

Debe cumplir con diferentes especificaciones:

- Debe ser impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o evaporación.
- No debe superar los 2 metros de altura para evitar sobrepresiones en el sistema.
- Debe contar con una tapa que impida el ingreso de polvo, insectos y luz solar.
- Debe tener una escotilla con tapa para permitir el acceso de una persona para limpiar y reparar en caso de ser necesario.
- La entrada y el rebose deben tener una malla para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Debe estar equipado con dispositivos para la extracción de agua y de drenaje.

e. Sistema de filtración rápida y redes de distribución de agua lluvia: La red de distribución de agua lluvia debe ir paralelamente a la red de acueducto. Tiene como objetivo llevar el agua de lluvia a los puntos de uso donde será utilizada. Es necesario proteger la red de suministro de agua potable mediante la instalación de una válvula de cheque, de tal manera se evita que el agua lluvia se mezcle con el agua potable (Palacio, 2010).

El sistema de bombeo se encarga de distribuir el agua desde el tanque de almacenamiento hacia los puntos donde se requiere. Se debe tomar en cuenta que la tubería de succión de la bomba debe estar ubicada al menos 50 cm por encima del fondo del tanque, evitando el arrastre de sedimentos o materiales acumulados en el fondo del tanque.

Los sistemas de captación de agua lluvia en techos dependerán del tipo de material y el tipo de estructura donde será llevado a cabo. A continuación, en la figura N° 13 se pueden visualizar un sistema de captación de agua lluvia en una vivienda de dos aguas y en la tabla N°3 se establecen las ventajas y desventajas para la utilización de un sistema de captación de aguas lluvias.

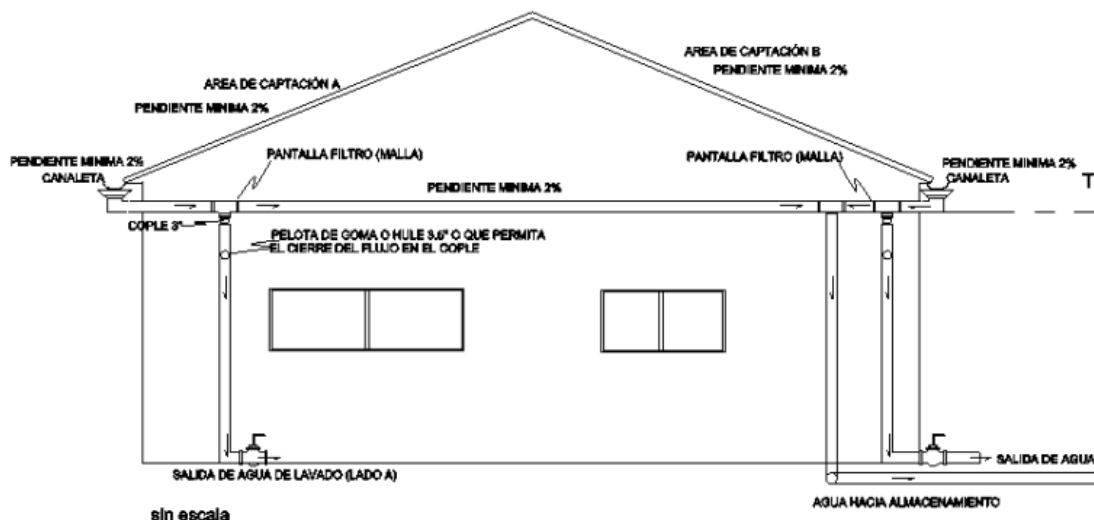


Figura 13. Sistema de captación de agua lluvia. *Fuente: CONAGUA (2016). Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda.*

Tabla N° 3: Ventajas y desventajas de los sistemas de agua lluvias.

Ventajas	Desventajas
• Contribuye a mejorar la capacidad de adaptación de las comunidades rurales a la sequía. • Permite la combinación de diversos mecanismos para para financiar transferencia de tecnología y construcción de sistemas de captación de agua de lluvia. • Pueden integrarse con sistemas de producción de energías renovables, como los paneles fotovoltaicos (García, 2016). Esto permite aprovechar la energía solar para el sistema de almacenamiento y el funcionamiento de las bombas hidráulicas. • Puede contribuir a aumentar la eficiencia de los sistemas públicos de alcantarillado pluvial. Previendo desbordamientos e inundaciones en las áreas urbanas (Reyes & Rubio, 2014).	• Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos. • La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación (OPS, 2020). • Para disponer de sistemas de captación de agua de lluvia eficientes, se requiere de un proceso de diseño adecuado. Es necesario que se realicen inversiones en investigación y desarrollo que contribuyan a mejorar los diseños existentes, considerando las especificidades regionales. (García, 2016).

Fuente: Elaboración propia

3.7. Reutilización de aguas grises

3.7.1. Sistemas de reutilización de aguas grises

La Ley 21.075 de 2018 se define como el conjunto de infraestructuras diseñadas para la recolección, tratamiento, almacenamiento y distribución de aguas grises con el fin de su posterior reutilización. Este sistema también abarca las instalaciones para el uso del efluente tratado, el cual debe cumplir con los estándares de calidad establecidos para el uso previsto según la normativa vigente. Las plantas de tratamiento de aguas grises son consideradas como parte del uso de suelo para efectos de su emplazamiento, debiendo cumplir con las condiciones establecidas en la Ordenanza de Urbanismo y Construcciones.

3.7.2. Uso de las aguas grises

Se debe realizar un tratamiento a las aguas grises con el propósito de mejorar su calidad y aumentar su reutilización, garantizando que no representen ningún riesgo para la salud humana ni para otros seres vivos. Existe una amplia variedad de sistemas de tratamiento disponibles para recuperar estas aguas. El objetivo principal de la reutilización de aguas grises es reducir los sólidos en suspensión, la carga orgánica y los microorganismos (Carrillo et al. ,2020).

Los tratamientos pueden ser de naturaleza química, como coagulación y floculación; física, como filtración y decantación; biológica, como lodos activados, filtros biológicos aireados y humedales; y de desinfección, como cloración, ozonización y radiación UV (Alvarado, 2007). El método a elegir dependerá de la composición del agua a tratar, por ejemplo, si proviene de la cocina, puede necesitar un tratamiento secundario para eliminar la materia orgánica, mientras que, si proviene de la lavadora, podría requerir un tratamiento terciario, para reducir la concentración de fosfato presente en los detergentes utilizados.

3.7.3. Factores para la caracterización de las aguas grises

Al caracterizar las aguas grises, es esencial considerar diversos factores clave que permiten comprender la composición y calidad del agua que se va a utilizar o tratar. A continuación, en la tabla N° 4 se muestran algunos de estos factores.

Tabla N° 4: Factores físicos (a), químicos (b), biológicos (c) para la caracterización de las aguas grises.

a) Factores físicos para la caracterización de las aguas grises	
Dureza	Es una propiedad que dependerá de los niveles de sales de Calcio (Ca) y magnesio (Mg), en donde también pueden influir las sales de fierro (Fe), manganeso (Mn) y aluminio (Al) (Málaga, 2017).
Turbidez	Se define la turbidez de una muestra de agua, como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua (Castillo, 2019). Esta propiedad visual de cada solución, la cual dependerá del tamaño, forma e índice de refracción de las partículas (Málaga, 2017).
Sólidos en suspensión	Los efectos de los sólidos suspendidos en los cuerpos receptores varían según el tamaño y naturaleza de los sólidos; pero que, desde un punto de vista general, los efectos más notables son: interferencia con la penetración de la luz solar (turbiedad) y el azolve de los cuerpos de agua. El reglamento en Materia de Contaminación Hídrica indica que los sólidos suspendidos totales en forma diaria no deben ser mayores a 60 mg/l (Castillo, 2019). También se incluyen Sólidos Suspendidos, que es la fracción de sólidos totales retenida por un filtro de 2(um), que corresponden a arcillas coloidales o partículas orgánicas, que no sedimentan fácilmente en un líquido, aumentando la turbiedad (Málaga, 2017).

a) (Continuación) Factores físicos para la caracterización de las aguas grises	
Temperatura	Este parámetro es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que muchos procesos biológicos dependen de la temperatura. Asimismo, es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo rango óptimo se encuentra entre 25 °C a 35 °C. Cuando la temperatura se acerca a los 50 °C los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen; por otro lado, cuando la temperatura es menor a 5 °C la actividad microbiana se inhibe (Castillo, 2019).
Color	El color en aguas residuales es causado por los sólidos en suspensión, material coloidal y sustancias en solución (Castillo, 2019).

b) Factores químicos para la caracterización de las aguas grises	
pH	Es la medida del grado de la acidez o alcalinidad de una solución, su rango va de 0 a 14, en donde el valor de 7 representa la neutralidad (Málaga, 2017).
Alcalinidad	Es importante en la función de amortiguador del agua y tiene un rol importante en la eliminación de turbidez en los procesos de coagulación-floculación. Los jabones y los productos basados en jabón son alcalinos, los detergentes se pueden formular con cualquier nivel de alcalinidad, según las necesidades de limpieza para las que son formulados. Puesto que la alcalinidad facilita la remoción de aceites, todos los detergentes de lavaplatos automáticos son alcalinos (Málaga, 2017).
Cloruros (Cl)	Los cloruros son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1 (Málaga, 2017).

c) Factores biológicos para la caracterización de las aguas grises	
Compuestos por materias grasas y aceites	La presencia de grasas en el agua también puede provocar numerosos problemas. Uno de ellos es la interferencia en los procesos de coagulación, floculación y filtración (Málaga, 2017).

c) (Continuación) Factores biológicos para la caracterización de las aguas grises	
Coliformes Fecales	Son bacterias encontradas en el tracto intestinal de mamíferos, en la materia fecal. Su presencia en agua o lodo indica contaminación fecal, y posible presencia de patógenos (Málaga, 2017).
Escherichia Coli	Su presencia en agua indica una reciente contaminación fecal. La mayoría son benignas, pero algunas patógenas causan severas gastroenteritis (Málaga, 2017).

Fuente: Elaboración propia

3.7.4. Reglamento sobre condiciones sanitarias para la reutilización de aguas grises

El reglamento establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir el diseño y la operación de los sistemas destinados a la reutilización de aguas grises, determinará los usos a los cuales podrán ser destinadas las aguas grises. A continuación, en la figura N° 14 se establecen los usos de las aguas grises.



Figura 14. Usos de las aguas grises. *Fuente: Elaboración propia*



Figura 14. (Continuación): Usos de las aguas grises. *Fuente: Elaboración propia*

- i. Las aguas grises en la ciudad pueden ser aprovechadas para el riego de áreas verdes como parques, canchas deportivas, campos de golf, así como para la limpieza de vehículos, de calles, fachadas e incluso para el uso de inodoros, entre otros propósitos.
- ii. En la agricultura, estas aguas pueden ser empleadas para el riego de cultivos, huertos, viñedos y árboles frutales, además de ser utilizadas en la restauración ambiental y en usos recreacionales como el aumento de caudal de esteros y lagunas.
- iii. En los sectores industrial y minero, es factible reutilizar el agua residual de los procesos propios, como el agua de refrigeración, de lavado, de procesos y para el riego de caminos (Alvarado, 2007).
- iv. También se establece en el reglamento que estas aguas no pueden ser utilizadas para el riego de cultivos vegetales y frutos que crecen a ras del suelo, ya que suelen ser consumidos crudos, ni tampoco deben ser empleadas como agua potable de consumo humano (Ministerio de salud, s. f).

Las características de las aguas grises dependen de la calidad del suministro de agua, el tipo de red de distribución y por último las actividades que se desarrollan en una vivienda (Sierra, 2007).

como el uso de lavadoras, lavabos o duchas. Componen entre el 50% y el 80%, del total de aguas residuales producidas en un hogar, se diferencian con las aguas negras ya que no tienen material orgánico del ser humano (Fernández, 2022).

Las aguas grises pueden ser aprovechadas mediante la instalación de sistemas de recolección de aguas residuales en las viviendas. Esto permite reducir el consumo de agua en un rango entre el 16% al 40%, posibilitando la reutilización de las aguas grises en diversas actividades como consumo humano, lavado de ropa, uso en el baño o riego de jardines.

Existen diferentes métodos de tratamientos para las aguas grises, como los tratamientos biológicos, físicos o físico-químicos. Otra opción es utilizar las aguas grises directamente sin someterlas a ningún tratamiento con un periodo máximo de almacenamiento de 24 horas. La elección del método dependerá del uso y las características del agua gris a tratar y se deberá tener en cuenta la Ley 21.075 que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises (Fernández, 2022).

3.7.5. Calidad de las aguas grises tratadas

El artículo 35° del reglamento sobre las condiciones básicas para la reutilización de aguas grises establece los estándares de calidad y los requisitos que deben cumplir las aguas grises tratadas para cada uno de los usos especificados en la Figura N° 14. A continuación, en las tablas N° 5, 6 y 7 se detallan los parámetros correspondientes a cada uno de los usos mencionados.

Tabla N° 5: Usos urbanos

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

Tabla N° 6: Riego de áreas recreativas y de servicios

Parámetro	Unidad	Límite máximo	
		Riego superficial	Riego subsuperficial
DBO ₅	mg/l	30	240
SST	mg/l	30	140
CF	UFC/100 ml	200	1000
Cloro libre residual	mg/l	$0,5 \leq X < 2$	----
Turbiedad	UNT	10	----

Tabla N° 7: Riego ornamental

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

Fuente: Ministerio de salud (s. f)

3.7.6. Tipos de sistemas de reutilización de aguas grises

Sistemas de tratamiento primario: Este proceso se caracteriza por utilizar métodos para eliminar contaminantes físicos del agua, como el cribado, la sedimentación, la flotación y la filtración. Su objetivo son los sólidos gruesos, sólidos en suspensión, sedimentables, aceites, grasas y materia orgánica (Carrillo et al. ,2020).

Sistemas de tratamiento secundario: Involucran procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos, que se realizan en lagunas de estabilización con diferentes tipos de oxidación, incluyendo las anaeróbicas y facultativas, así como tratamientos que utilizan lodos activados que, por la acción de bacterias y algas, contribuyen a la oxidación o reducción de los componentes orgánicos contaminantes presentes en el agua (Campoverde, 2017).

Algunos de ellos son:

- **Lagunas de sedimentación:** Son sistemas que facilitan la separación de sólidos y la degradación del material orgánico en ausencia de oxígeno. Estos sistemas son menos exigentes en términos de operación y mantenimiento en comparación con los sedimentadores tradicionales, ya que por lo general solo requieren la extracción de lodos una vez al año (Alvarado, 2007). Se caracterizan por ser una opción de tratamiento sencilla y económica durante su construcción, promoviendo la

sedimentación de sólidos y degradación aeróbica de la materia orgánica presente en el agua (Ruiz, 2019).

- **Tanque séptico:** Se utilizan principalmente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, constan en 2 o 3 cámaras donde los lodos se sedimentan y se estabilizan a través de un proceso anaeróbico. El material en suspensión permanece sin tratamiento en el tanque, y el lodo debe ser extraído cada cierto tiempo con bombas. Estos tanques se emplean principalmente para la recolección de aguas servidas domésticas y la eliminación de los sólidos más grandes. La sedimentación y la estabilización de los lodos se logran mediante la digestión anaeróbica y la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se sitúa en un rango del 25%-50% (Ruiz, 2019).
- **Estanques sedimentadores:** En este tipo de sistemas, las partículas se separan por la fuerza de gravedad mediante el proceso de decantación. Además, se logra la eliminación de microorganismos al unirse a las partículas. Para mejorar la eliminación de microorganismos y partículas más pequeñas, es posible agregar coagulantes y agitar el agua.
- **Humedales y biofiltros:** Este tipo de sistema requiere una fase inicial de sedimentación (Alvarado, 2007). Es necesario que el área donde se ubique no tenga un nivel freático muy cercano a la superficie, lo que implica una mayor profundidad bajo tierra. Además, debe contar con un buen sistema de drenaje. En una primera etapa, se retienen jabones y grasas mediante una trampa de grasas, formando una capa superficial y sedimentando los sólidos hacia el fondo y una vez que el agua ha pasado por esta fase, se considera pretratada. En esta etapa, se siembran plantas de pantano que se alimentan de detergentes y materia orgánica, purificando el agua. Usualmente se emplean carrizos o poas acuáticas, gramíneas chilenas. Por último, en esta etapa se forma una fina capa de microorganismos llamada bio-membrana, la cual se encarga de tratar el agua. Cuanto mayor sea el tiempo de retención, más efectivo será el tratamiento (Campoverde, 2017). Estas unidades permiten filtrar, reducir la materia orgánica disuelta, y disminuir la presencia de patógenos.
- **Membranas:** Se utiliza una membrana semipermeable por la cual el agua atraviesa una diferencia de presión, lo que permite la eliminación de sólidos. Los sistemas de membranas incluyen la microfiltración,

ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa, cada uno con capacidades de retención de distintos tamaños de partículas (Alvarado, 2007). siendo la ósmosis inversa la más efectiva al eliminar prácticamente todos los sólidos disueltos en el agua. Un desafío común asociado a estos sistemas es la tendencia de las membranas a obstruirse (Ruiz, 2019).

- **Lodos activados:** Son método biológico aeróbico que se fundamenta en acción de microorganismos presentes en una concentración específica en un tanque donde se mezcla la materia orgánica. La agitación del aire induce la formación de “lodos activados” conocidos como licor mezclado, el cual luego se lleva a un sedimentador secundario donde se separan los lodos activados, generando un efluente clarificado. En este proceso, una parte de los lodos debe ser devuelta al tanque para mantener el equilibrio de microorganismos en el sistema (Alvarado, 2007). Se utilizan bacterias para eliminar las partículas disueltas del agua residual en condiciones aeróbicas mediante la inducción de aire (Ruiz, 2019).
- **Sistemas de 2 barriles:** Implica el uso de dos contenedores plásticos de 160 litros cada uno. En este sistema, las aguas grises se dirigen al primer contenedor, donde ocurre la sedimentación de los sólidos, se separan los aceites y grasas, además del jabón. Posteriormente, el agua clarificada se transporta al segundo contenedor a través de una tubería de PVC de 50 mm. Una vez que el segundo contenedor se llena, un flotador activa una pequeña bomba que envía el agua a un sistema de riego (Alvarado, 2007).
- **Sistema de 4 barriles:** Es una extensión del sistema de dos barriles e implica la adición de dos contenedores de 220 litros cada uno llenos de grava media (2-3 cm). El agua se transfiere del primer sistema al tercer contenedor. Desde la base de los contenedores, el agua es forzada a subir a través de la grava, donde se establecen bacterias anaeróbicas en la superficie, las que ayudan a reducir la materia orgánica del agua. Como último paso, el agua tratada se descarga desde la superficie del tercer contenedor a través de una tubería hacia el cuarto contenedor, desde donde se bombea de manera similar al sistema de dos barriles (Alvarado, 2007).

Capítulo 4: Marco Normativo

A continuación, en las tablas N° 8, 9 y 10 se exponen las normativas vinculadas al uso del agua. Las primeras mencionadas hacen alusión a la normativa chilena, mientras que la última compara la normativa española.

Tabla N° 8: Normativas relacionadas a normas y regulación del agua en Chile

Legislación Chilena Relacionadas al Agua			
Nombre	Fecha	Título	Objetivo
Decreto Supremo N° 46	8 de marzo de 2002	Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas	Tiene por objeto regular la descarga de contaminantes hacia aguas subterráneas, mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos, con el objeto de prevenir la contaminación de los acuíferos.
Decreto Supremo N° 90	30 de mayo de 2000	Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.	Tiene por objeto regular la descarga de contaminantes hacia cursos de aguas marinas y continentales superficiales mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos, previniendo así de la contaminación de dichos cuerpos de agua.
Ley N° 20.998	06 de febrero de 2016	Regula los Servicios Sanitarios Rurales.	Establece el marco regulatorio y jurídico para la provisión de servicios de agua potable y saneamiento en el sector rural, mediante la entrega de Licencias por el MOP y el Registro de Operadores.
Ley N° 21.075	01 de febrero de 2018	Regula la Recolección, Reutilización y Disposición de Aguas Grises	Establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir el diseño y la operación de los sistemas destinados a la reutilización de aguas grises, ya sea que éstos se ubiquen dentro o fuera del territorio operacional de las concesionarias de servicios sanitarios.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 9: Normativas relacionadas a la calidad de aguas en Chile.

Normas de Calidad sobre Calidad de Agua		
	Norma	Título de la Norma
1	NCh 1333	Norma Chilena Oficial que fija requisitos de calidad de agua para diferentes usos. Norma preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización INN, la cual fija los criterios de calidad del agua de acuerdo a su uso, contribuyendo así a preservar y proteger la calidad de las aguas de contaminaciones con residuos de cualquier tipo.
2	NCh 409/1	Norma Chilena Oficial que fija los requisitos de calidad para Agua Potable en todo el territorio nacional y se aplica al agua potable proveniente de cualquier servicio de abastecimiento.
3	NCh 409/2	Norma Chilena Oficial que establece los procedimientos de inspección y muestreo para verificar los requisitos microbiológicos, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección del agua potable especificados en la NCh 409/1. La norma se aplica al agua potable de cualquier servicio de abastecimiento.
4	NCh 410	Calidad del Agua – Vocabulario.
5	NCh 411/1	Calidad del Agua – Muestreo – Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.
6	NCh 411/2	Calidad del Agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo.
7	NCh 411/3	Calidad del Agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
8	NCh 411/6	Calidad del Agua – Muestreo - Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.
9	NCh 1620/1	Agua potable - Determinación de bacterias coliformes totales - Parte 1: Método de los tubos múltiples (NMP).
10	NCh 1620/2	Agua potable - Determinación de bacterias coliformes totales - Parte 2: Método de filtración por membrana.
11	NCh 2043	Aguas - Método de determinación simultánea de bacterias coliformes totales y Escherichia coli mediante la técnica del sustrato cromogénico.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10: Normativa española en función de las transposiciones de las Directivas Europeas 20/60/CEE y Directiva 91/271/CEE.

Normativa	Fecha	Objetivo
Directiva 20/60/CEE		
Real Decreto Legislativo	20 de Julio de 2021	Aprobación del texto refundido de la Ley de Aguas
Ley 62/2003	30 de diciembre de 2003	Modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de Julio, por la que se incorpora al derecho español la Directiva 2000/60/CE, estableciendo un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
Ley 11/2005	22 de junio de 2005	Modificación del Plan Hidrológico Nacional
Real Decreto 606/2003	23 de mayo de 2003	Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico
Real Decreto 927/1988	29 de julio de 1998	Aprobación del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de Planificación Hidrológica
Real Decreto 125/2007	2 de febrero de 2007	Ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas
Directiva 91/271/CEE		
Real Decreto Ley 11/1995	28 de diciembre de 1995	Se establece la normativa aplicada en el tratamiento de las aguas residuales y las competencias de las autoridades españolas.
Real Decreto 506/1996	15 de marzo de 1996	RD de desarrollo del Real Decreto Ley 11/1995. En este RD se complementa las normas de recogida, depuración y vertido de las aguas residuales y complementa al ordenamiento jurídico español la norma comunitaria.
Real Decreto 2116/1998	2 de octubre de 1998	Modificación del RD anterior. Recoger la Directiva 98/15/CEE, por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE en relación con determinados requisitos establecidos en su Anexo I

Fuente: Fernández, I. (2022).

Capítulo 5: Metodología de Trabajo

El estudio se centra en un enfoque cuantitativo, abordando la recopilación y análisis de datos en la región de Valparaíso, específicamente en viviendas sociales. El tipo de investigación es de tipo descriptivo y explicativo, ya que se trabajó con datos como el consumo de agua en una casa, las precipitaciones de las localidades, las medidas de la vivienda y estructura del techo. El objetivo es establecer el diseño de un sistema híbrido para la captación de aguas pluviales y la reutilización de aguas grises.

5.1. Primera Parte: Recopilación de información y análisis de los sistemas

En esta etapa inicial, fue necesario conocer las condiciones particulares de la zona de estudio, dado que se determinó la implementación del sistema híbrido en viviendas sociales. Se consideraron aspectos como la disponibilidad de espacio, el consumo de agua, los niveles promedio de lluvia mensual, entre otros datos relevantes.

Para el caso de estudio las viviendas sociales deben cumplir con las siguientes características:

El Decreto Supremo N.º 49 de 2011 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo presenta el Programa Habitacional conocido como Fondo Solidario de Elección de Vivienda, cuyo objetivo es facilitar a las familias en situación de vulnerabilidad el acceso a una solución de vivienda mediante un subsidio estatal, según se menciona en el artículo 1º.

En el inciso 10, se establece que la superficie inicial construida de una vivienda no puede ser inferior a 42 m^2 en casos de densificación predial, pequeños condominios y construcción en nuevos terrenos, o de 45 m^2 en el caso de construcción en terreno propio. Estas condiciones no invalidan los requisitos del subsidio complementario de densificación en altura, que requiere que las unidades de vivienda tengan una superficie edificada y habilitada para entrega al solicitante de al menos 55 m^2 (Cámara de diputadas y diputados, s. f.). Por lo tanto, las edificaciones no disponen de un espacio tan extenso para la ejecución de un proyecto que requiera un uso considerable de espacio.

Se pueden apreciar a continuación en las figuras los diseños tradicionales de viviendas sociales en la región.

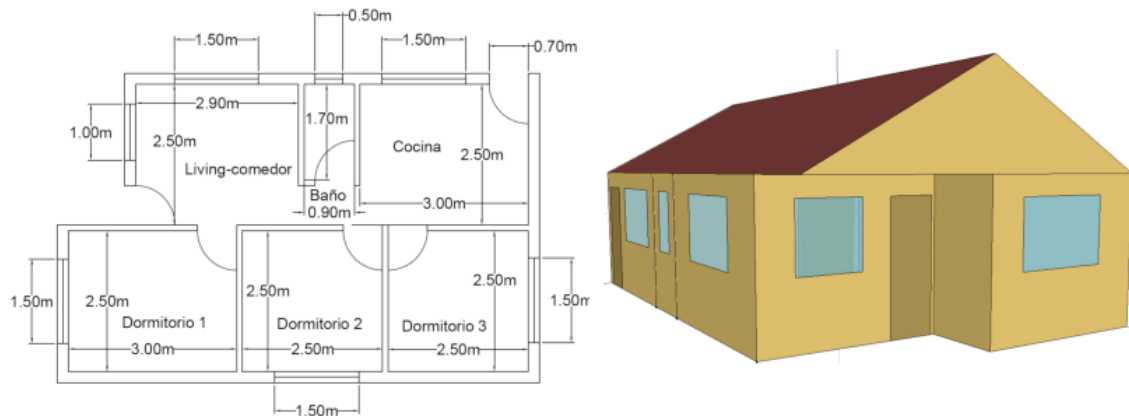


Figura 15. Vivienda social en Chile de acuerdo al decreto supremo N° 49.
Fuente: Muñoz (2015)



Figura 16. Vivienda social pareada en Chile *Fuente: Olivares (2019). Un modelo que no da más: Las críticas al actual sistema de viviendas sociales*

La figura N° 15 muestra viviendas sociales individuales, mientras que la figura 16 representa viviendas sociales “pareadas”, lo que provoca variaciones en la superficie del techo. En Chile, se encuentran diversos diseños de viviendas sociales (Revisar anexo 1), sin embargo, en este estudio se optará por emplear los cálculos con el modelo representado en la figura N° 15.

El segundo paso consiste en entender las precipitaciones de la región, ya que la cantidad de lluvia varía en cada región del país y es un factor crucial para la instalación de sistemas de captación de agua pluviales. Es fundamental conocer el volumen de lluvia mensual en la región durante todo el año (Uchile, s.f).

Se recopilieron los datos de precipitaciones mensuales y anuales de la Dirección Meteorológica de Chile, provenientes de dos estaciones de monitoreo ubicadas en la región de Valparaíso, lo que permite conocer la cantidad de agua que cae en el área cubierta.

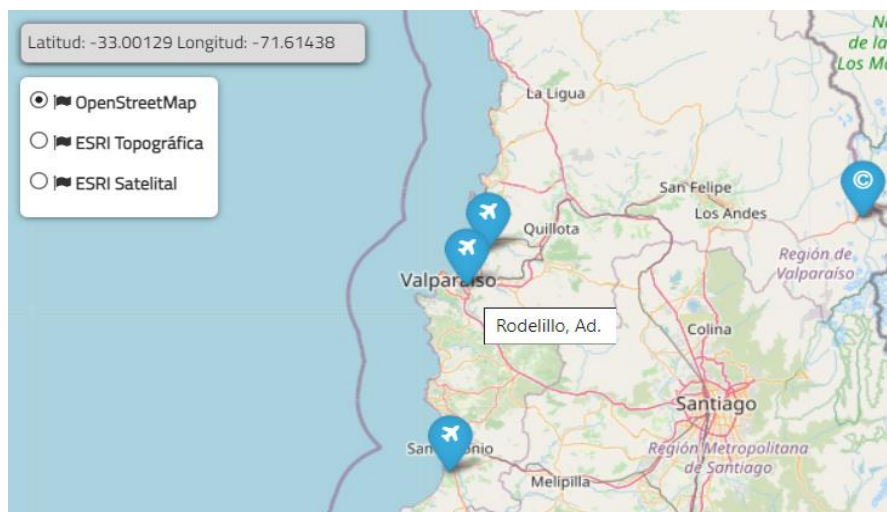


Figura 17. Estaciones de monitoreo en la región de Valparaíso. *Fuente: Servicios Climático (s. f.).*

En la figura 17, se presenta un mapa con las estaciones de monitoreo del sistema SACLIM para visualizar las estaciones presentes en la región. En este proyecto, se optó por trabajar con dos de ellas: la estación de Rodelillo y la estación Viña del Mar Ad. (Torquemada). A continuación, se proporcionan algunos datos sobre la ubicación de cada estación.

Primera estación de monitoreo: Rodelillo

Ubicación

Latitud:	-33.065277
Longitud:	-71.556388
Altitud:	330 Mts.
Distancia desde la ciudad:	6 Km al SO de la ciudad

Segunda estación de monitoreo: Viña del Mar Ad. (Torquemada).
Ubicación

Latitud: -32.949444

Longitud: -71.476110

Altitud: 141 Mts.

Distancia desde la ciudad: Viña del Mar 6 km al NW.

Se elaboraron dos tablas con los datos de precipitación mensual de los últimos 10 años para analizar las precipitaciones en la región. Se ha calculado el promedio mensual para la estación de monitoreo de Rodelillo (Tabla N°11) y para la estación de monitoreo de Viña del Mar (Tabla N°12). A continuación, se presentan las dos tablas con los datos de precipitación mensual de ambas estaciones:

Tabla N° 11: Precipitación Mensual, estación de monitoreo Rodelillo 2014-2023

Precipitación Mensual (mm) Rodelillo												
Año	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2014	0	0,2	0,7	0,5	32,5	165	45,4	78,8	53,4	0,7	4,5	0,6
2015	4,7	1,1	5	1	2,7	1	68,7	226	99,2	101	0,3	0,1
2016	6,5	S/I	2,7	123	48,8	45,8	126	0,2	3,5	18,3	0,4	16,9
2017	0,1	0,3	1,2	5,5	114	212	50,3	133	22,9	48,4	5,5	3,7
2018	1,6	0,2	0,8	1,2	38,4	88,2	89,1	13,3	16,3	8	0	0
2019	0,5	3,1	1,9	2,8	4,3	85,6	8,4	0,4	1,5	0,3	0,9	0
2020	0,1	1,2	0,4	2,9	2,2	228	113	41,3	3,7	2,7	3	0,3
2021	36,2	1	2	17,7	4,8	44,3	13,3	50,1	38,3	1,2	1,7	4,3
2022	3,6	0,4	1	31,1	0,5	91,3	145	66,7	7,4	2,9	4,9	5,9
2023	0,3	0,3	2	58,8	41	108	104	126	64	35,6	30,9	5,8
Promedio	5,36	0,87	1,77	24,5	28,9	107	76,3	73,5	31	21,9	5,21	3,76

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se trabajó con los datos de las estaciones para calcular el promedio anual en los últimos 10 años, visualizado en la tabla N° 13.

Tabla N° 12: Precipitación Mensual, estación de monitoreo Viña del Mar (Torquemada) 2014-2023

Precipitación Mensual (mm) Viña del Mar												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2014	S/I	0	S/I	S/I	14,8	157	63	43,1	31,2	0	1,2	0
2015	S/I	S/I	5	0	0,5	S/I	59,8	177	61,7	79,2	S/I	S/I
2016	2,5	0	S/I	101	61,3	41,6	135	S/I	1,6	18,9	S/I	17,5
2017	S/I	S/I	0,2	10,1	120	140	27,7	76,2	13,4	23,5	10,3	0
2018	0	0	0,4	S/I	13,2	91,7	22	6,7	8,8	2,6	S/I	S/I
2019	0	0	0,4	3	7,4	68,4	10	S/I	0,5	S/I	0,3	S/I
2020	0	S/I	0	S/I	0	150	77	17,3	1,6	0,4	0,4	0
2021	12,4	S/I	0	8,2	1,3	11,1	7,8	33,3	25,5	0,9	0,3	2
2022	0	S/I	0,8	51,3	S/I	86,2	118	63,3	6,9	1,9	2	2,6
2023	0	0	0	22,2	44,9	66,8	95,8	128	44,7	10,8	28,3	1,7
Promedio	2,13	0	0,85	27,9	29,3	90,4	61,6	68	19,6	15,4	6,11	3,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Precipitación Anual de estaciones y promedio de precipitación entre ambas estaciones.

	Precipitación anual (Viña del Mar)	Precipitación anual (Rodelillo)	Promedio precipitación anual (Estaciones)
2014	310,6	382,3	346,45
2015	382,7	510,9	446,8
2016	378,5	392,3	385,4
2017	421,4	596,4	508,9
2018	145,4	257,1	201,25
2019	90	109,7	99,85
2020	247	398,6	322,8
2021	102,8	214,9	158,85
2022	333,3	360,8	347,05
2023	443,1	576,9	510

Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Cálculo del área total de captación

Para determinar la superficie total de captación, es fundamental realizar el cálculo del área del techo de la casa empleando la información provista en la Figura N° 15.

El modelo del techo en la Figura N° 15 es de dos aguas, por lo que el área de captación es rectangular y corresponde al área de captación de aguas pluviales, entonces se realiza:

$$\text{Área} = (3.00m + 2.50m + 2.50m) \times (2.50m + 2.50m)$$

$$\text{Área} = 8.00 m \times 5.00m$$

$$\text{Área} = 40 m^2$$

5.1.2. Cálculo precipitación promedio mensual (Pp_i)

Utilizando los datos promedio de precipitación mensual de los últimos 10 o 15 años, se calcula el promedio mensual para el total de años analizados. Este valor puede ser representado en milímetros por mes o litros por metro cuadrado por mes, indicando la cantidad que podría ser recolectada en la superficie horizontal de un techo (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Pp_i : Precipitación promedio mensual de un mes en específico (i) durante todos los años a evaluar (mm/mes)

n: N° de años evaluados

p_i : Precipitación del mes i (mm)

La demanda se debe evaluar considerando los requerimientos que deben satisfacerse al analizar población objetivo y sus características específicas, con énfasis en el consumo personal y la higiene de los alimentos (Nickisch et al., 2018). Sin embargo, la cantidad de agua a utilizar dependerá de los usos específicos en la vivienda y/o comunidad (Agatón et al., 2016), por lo tanto, es necesario analizar cada caso particular.

5.1.3. Cálculo de la demanda

Es la cantidad de agua necesaria para la población objetivo, con el fin de satisfacer sus necesidades. (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

Basándose en la cantidad estimada de agua por persona, se determina la cantidad total de agua requerida para satisfacer las necesidades de la familia o familias que se verán beneficiadas en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Nu: Número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd: Número de días del mes analizado

Dot: Dotación (l/persona x día)

D_i : demanda mensual (m^3)

Hay que considerar el gasto de una familia de 5 personas:

Tabla N° 14: Gasto promedio de una familia de 5 personas

Uso	Invierno (Litros)	Verano (Litros)
Duchas	250	360
Aseo en lavatorio	50	60
Descarga en WC	300	300
Preparación comida y lavado de vajilla	80	90
Lavado en General	150	185
Riego	5	165
Total, diario	835	1.150
Total, Mensual	25.050	34.500

Fuente: (Consumo de Agua - Portal SERNAC, s. f.)

Los totales diarios y mensuales presentados en la tabla N° 14 proporcionan una estimación del consumo promedio de agua de un hogar de 5 personas, lo que servirá como referencia para cálculos futuros sobre el uso del agua en el hogar.

5.1.4. Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento

Considerando los promedios mensuales de precipitación a lo largo de todos los años analizados, junto con el tipo de material del techo y el coeficiente de esorrentía, se realiza el cálculo de la cantidad de agua recogida para distintas áreas de techo y por cada mes (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

Pp_i : Precipitación Promedio mensual (litros/ m^2)

Ce : Coeficiente de esorrentía

Ac : Área de captación (m^2)

A_i : Oferta de agua en el mes i (m^3)

El total de la oferta y la demanda en el mes i , puede ser calculado mediante:

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$$Da_i = Aa_{(i-1)} + Nu \times Nd_i \times Dd_i / 1000$$

Donde:

Aa_i : Oferta acumulada al mes “ i ”.

Da_i : Demanda acumulada al mes “ i ”.

$$V_i(m^3) = A_i(m^3) - D_i(m^3)$$

Donde:

V_i : Volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “ i ”.

A_i : Volumen de agua que se captó en el mes “ i ”.

$D_i(m^3)$: Volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “ i ”.

5.1.5. Cálculo de volumen de captación

Se estima la cantidad de agua que se recolecta mensualmente, utilizando la precipitación promedio mensual entre ambas estaciones (ver tabla N°15). Además, es crucial conocer el factor de captación (denominado K_c), el cual varía según el material del techo. En la tabla N° 16 se encuentran los valores correspondientes para cada tipo de techo

$$V_C = \frac{P \times A \times K_c}{1000} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

V_C : Volumen de captación del mes (m^3)

P: Precipitación promedio acumulada del mes (mm)

A: Área del techo o superficie de captación (m^2)

K_c Coeficiente de captación de acuerdo con el material del techo (adimensional)

1000: Factor de conversión de litros a (m^3)

Tabla N° 15: Precipitación del Promedio Mensual entre las estaciones de Rodelillo y Viña del Mar (2014-2023).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2014	0	0,1	0,7	0,5	23,7	161	54,2	61	42,3	0,35	2,85	0,3
2015	4,7	1,1	5	0,5	1,6	1	64,3	201	80,5	90,1	0,3	0,1
2016	4,5	0	2,7	112	55,1	43,7	130	0,2	2,55	18,6	0,4	17,2
2017	0,1	0,3	0,7	7,8	117	176	39	104	18,2	36	7,9	1,85
2018	0,8	0,1	0,6	1,2	25,8	90	55,6	10	12,6	5,3	0	0
2019	0,25	1,55	1,15	2,9	5,85	77	9,2	0,4	1	0,3	0,6	0
2020	0,05	1,2	0,2	2,9	1,1	189	94,9	29,3	2,65	1,55	1,7	0,15
2021	24,3	1	1	13	3,05	27,7	10,6	41,7	31,9	1,05	1	3,15
2022	1,8	0,4	0,9	41,2	0,5	88,8	132	65	7,15	2,4	3,45	4,25
2023	0,15	0,15	1	40,5	43	87,6	100	127	54,4	23,2	29,6	3,75
Promedio	3,67	0,59	1,4	22,2	27,7	94,2	69	64	25,3	17,9	4,78	3,08
Volumen de captación promedio mensual												
$V_c(m^3)$	0,11	0,02	0,04	0,68	0,84	2,86	2,1	1,95	0,77	0,54	0,15	0,09

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°15 se añade una fila para incluir el volumen de captación V_c , para cada mes correspondiente.

Las superficies del techo tienen coeficientes de captación específicos, y se busca una superficie lisa e impermeable que permita que el flujo de agua se escurra hacia las canaletas sin pérdidas. Con este fin se a elaborado la tabla N°16.

Tabla N° 16: Coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de materiales

Material o tipo de construcción	K_c
<i>Cubiertas metálicas o plásticas (PVC o polietileno)</i>	0.95
<i>Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros(tejas)</i>	0.90
<i>Concreto</i>	0.90
<i>Lamina metálica corrugada</i>	0.80

Fuente: Comisión Nacional del agua (2016)

Como se puede observar en la tabla, los materiales plásticos o metálicos presentan la menor porosidad, lo que los convierte en variables importantes al momento de elegir un material. Además, es crucial que el material elegido cumpla con una pendiente no menor a 5%, a fin de permitir el escurrimiento del agua pluvial (Ortiz et al., 2017). Se consideró la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en techos, para la superficie de captación se utiliza como material la plancha de zinc, el cual consiste en una lámina de acero que le confiere una alta resistencia a la corrosión y a las condiciones climáticas. Debido a su bajo costo, se convierte en la opción más económica disponible en el mercado (Urbina, 2023).

Del mismo modo, para la instalación de un sistema de reutilización de aguas grises, fue necesario conocer el consumo de agua de cada artefacto del cual se pueden obtener aguas grises. A continuación, en la siguiente tabla se muestran las zonas hídricas y el consumo de cada región.

Tabla N° 17: Zonas hídricas y línea base de consumo según región.

REGIÓN	ZONA HÍDRICA	LÍNEA BASE DE CONSUMO L/HAB/DÍA
Arica y Parinacota	EH	118
Tarapacá	EH	118
Antofagasta	EHE	121
Atacama	EHE	123
Coquimbo	EH	123
Valparaíso	EH	140
Metropolitana	EH	264
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	DH	117
Maule	DH	119
Biobío	DH	117
La Araucanía	DH	128
Los Ríos	SH	112
Los Lagos	SH	101
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	SH	95
Magallanes y de la Antártica Chilena	SH	131

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2018)

La tabla N° 17 nos entrega datos aproximados del consumo por habitante al día de agua en las regiones de Chile, dado que la zona de estudio se encuentra en la región de Valparaíso, la investigación se enfocará únicamente en los datos de esta región. Por lo tanto, el consumo hídrico por persona es de 140 litros por día.

En esta etapa del estudio, fue necesario determinar el consumo de agua por artefacto utilizado en una vivienda, teniendo en cuenta los aspectos detallados en la tabla N° 18 para realizar los cálculos correspondientes.

Tabla N° 18: Caudales por artefacto e intensidad de uso diario según perfil y género.

CAUDALES Y DEMANDA POR ARTEFACTO					INTENSIDAD DE USO DIARIO SEGÚN PERFIL DE USUARIO			
					PERMANENTES		TRANSITORIOS	
ARTEFACTO	CAUDALES	UNIDAD	DURACION (SEGUNDOS)	DEMANDA POR USO [Du] (litros)	M	F	M	F
Inodoro	6	Litros por descarga	n/a	6	1	3	0,2	0,5
Urinario	3,8	Litros por descarga	n/a	3,8	2	-	0,4	-
Lavamanos	9	Litros por minuto	30	4,5	3	3	0,5	0,5
Ducha	9,5	Litros por minuto	480	76	1	1	-	-
Lavaplatos cocina	9	Litros por minuto	60	9	4	4	-	-
Llave de riego 1/2"	8	Litros por minuto	480	64	1	1	-	-
Llave de riego 3/4"	8	Litros por minuto	480	64	1	1	-	-
Lavadora	60	Litros por ciclo	Un uso diario por unidad de vivienda	60	-	-	-	-
Lavavajilla	11	Litros por ciclo	Un uso diario por unidad de vivienda	11	-	-	-	-

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2018)

5.1.6. Cálculo de usos diarios por artefacto

$$N = (P \times U) + (T \times U) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

N: Total de usos diarios por artefacto

U: Uso diario

P: Usuarios permanentes

T: Usuarios Transitorios

Usos diarios de los artefactos por usuario	
Inodoro	4
Lavamanos	3
Ducha	1
Llave de riego ½"	1
Lavadora	1

5.1.7. Cálculo de la demanda diaria de referencia por artefacto

$$DdA = N \times Du \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

DdA: Demanda diaria de referencia por artefacto

N: Total de usos diarios por artefacto

Du: Demanda por uso

Demanda diaria por artefacto	
Inodoro	24
Llave de riego	64

5.1.8. Cálculo de la demanda de proyecto referencial

$$DPr = \sum DdAr \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

DPr: Demanda del proyecto referencial

DdAr: Demanda diaria referencial por artefacto

Demanda diaria por proyecto referencial	
Diaria	88 L
Semanal	616 L
Mensual	18480 L

A pesar de que resulta muy difícil calcular con precisión matemática el volumen exacto de aguas grises que produce una vivienda, debido a la influencia de diversos factores que afectan el consumo de agua potable (como el género de los habitantes, la cantidad de visitantes, cambios en los hábitos de los miembros del hogar, las estaciones del año, entre otros), es factible desarrollar una ecuación específica y efectiva para las circunstancias del sistema mencionado.

Para ello no se consideraron los usuarios transitorios.

5.1.9. Cálculo del volumen mensual de aguas grises generadas

$$V_{m.ag} = 4,5[n_p(Q_d t_d S_d + Q_{lm} t_{lm} S_{lm.p} + Q_l t_l S_{l.p})] \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

$V_{m.ag}$: volumen mensual de aguas grises generadas [L].

n_p : número de personas que comparten la vivienda permanentemente.

Q_d : caudal promedio de agua potable suministrado por la ducha [L/min].

Q_{lm} : caudal promedio de agua potable suministrado por el lavamanos [L/min].

Q_l : caudal promedio de agua potable suministrado por la lavadora [L/min].

t_d : tiempo de uso típico para la ducha [min]

t_{lm} : tiempo de uso típico para el lavamanos [min].

t_l : tiempo de uso típico para la lavadora [min].

S_d : factor de uso típico de la ducha en una semana.

$S_{lm.p}$: factor de uso típico del lavamanos en una semana, por usuarios permanentes.

$S_{l.p}$: factor de uso típico de la lavadora en una semana, por usuarios permanentes.

Considerando una familia de 5 personas, los valores serían los siguientes:

n_p : 5

Q_d : 9,5 [L/min].

Q_{lm} : 9 [L/min].

Q_l : 60 [L/min].

t_d : 8 [min]

t_{lm} : 0,5 [min].

t_l : Tiempo de llenado aproximado 5 min

S_d : 7

$S_{lm.p}$: 21

$S_{l.p}$: 3 (si se hacen 3 cargas de ropa a la semana)

Como se mencionó anteriormente, el volumen de aguas grises en una vivienda está determinado por varios factores, incluyendo la cantidad de personas en el hogar, el uso de artefactos y otros elementos. En este caso, según la fórmula anterior, calcularemos el volumen de aguas grises generadas por una familia de 5 personas al utilizar una ducha, un lavamanos y una lavadora, que son las aguas grises que se incluirán en el sistema híbrido según la normativa vigente. Las que serán utilizadas para el riego del jardín y la recarga del inodoro. Al resolver la ecuación, se estima que el volumen de aguas grises generado será aproximadamente (González, 2021).

$$V_{m.ag} = 4,5[5(9,5 \times 8 \times 7 + 9 \times 0,5 \times 21 + 60 \times 5 \times 3)]$$

$$V_{m.ag} = 34346,25 \approx 3434,6 [L] = 34.346 (m^3)$$

5.2. Segunda Parte: Diseño de sistema híbrido de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises.

Para el diseño del sistema híbrido de captación de agua lluvia y reutilización de aguas grises y su potencial aplicación en viviendas sociales de la región de Valparaíso, se realizó un análisis de los distintos sistemas disponibles, seleccionando el que se consideró más idóneo para la implementación. Se llevó a cabo un análisis individual de cada sistema antes del diseño del sistema híbrido.

A continuación, se detallan los requisitos para los sistemas:

Para el sistema de captación de agua lluvia: Es necesario considerar varios criterios, como la accesibilidad del lugar, el espacio disponible para la construcción de las instalaciones y las precipitaciones mensuales. Estos aspectos particulares podrían generar dificultades en la construcción del sistema y aumentar los costos de la obra, lo cual es fundamental para evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto (Pizarro et al., 2015). La figura N° 18 presenta algunos criterios importantes a considerar.

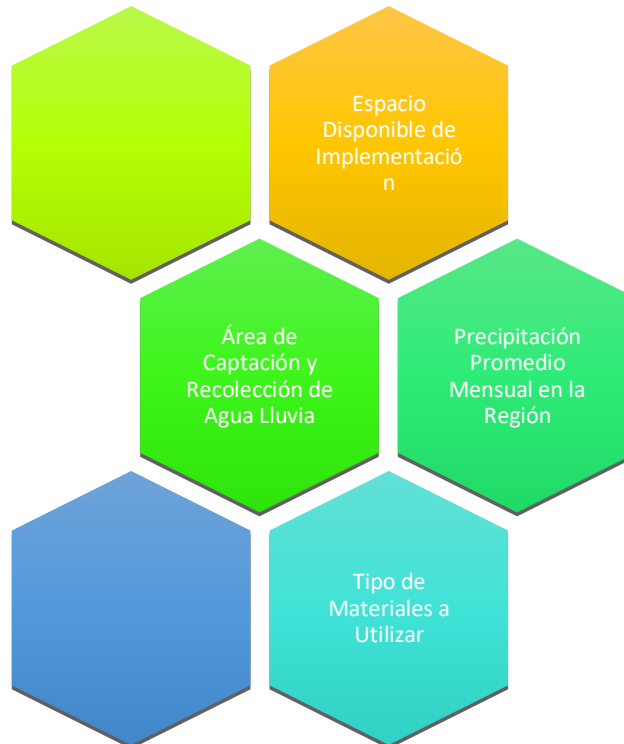


Figura 18. Criterios para la instalación de un sistema de captación de aguas lluvias. Fuente: *Elaboración propia*

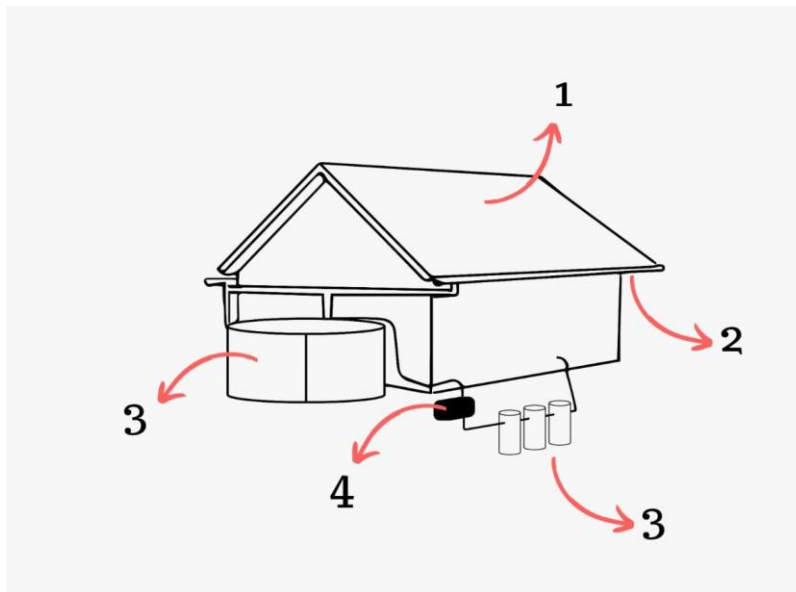
Para el sistema de reutilización de aguas grises se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- El flujo de agua debe ser suficiente para cubrir la demanda requerida en un hogar de 5 personas, los electrodomésticos utilizados a diario (riego de jardín e inodoro).
- La composición de las aguas grises varía según el uso que le den las personas, además está influenciada por factores como el clima, la calidad del agua potable, los residentes del hogar y los productos de limpieza utilizados, entre otros. Los elementos presentes en estas aguas se dividen principalmente en factores químicos, físicos y microbiológicos (Chechilnitzky, 2017).
- Materiales como tuberías, el diámetro y los accesorios requeridos para el sistema de conducción.
- Se debe considerar la amplia variabilidad en la composición de las aguas grises, ya que los valores de DQO (Demanda Química De Oxígeno) pueden oscilar entre 40 hasta 371 mg/l, dependiendo de la fuente de donde provenga. Además, el ratio DQO: DBO (Demanda Biológica De Oxígeno) es de 4:1 aproximadamente (Espinal, C., Ocampo, et al., 2013)
- Tener en cuenta la presencia de microorganismos patógenos, como los coliformes fecales que pueden estar presentes en las aguas grises. Ya que se ha documentado que las aguas grises pueden contener al menos 105/100 ml de microorganismos potencialmente patógenos, como coliformes fecales. Por otro lado, los recuentos totales de coliformes fecales en las aguas pueden aumentar en gran medida con unas 48 h de almacenaje, independientemente de la fuente de origen. Las aguas residuales provenientes del grifo de la cocina y del lavaplatos, estrictamente, deberían ser consideradas también como aguas grises. Sin embargo, estas aguas contienen una carga más alta de nutrientes y tienen una DBO5 significativamente más alta que las aguas grises que provienen del resto de la casa (Espinal, C., Ocampo, et al., 2013). Por ello no serán consideradas para el sistema.

Para la selección del tipo de sistema a utilizar se tomaron en cuenta las dimensiones y el espacio disponible para la instalación del sistema de aguas grises. Por esta razón, se optó por un sistema de tres barriles el cual implica el uso de tres contenedores plásticos de 120 litros cada uno, enterrados bajo tierra. En este sistema, las aguas grises se dirigen al primer contenedor, donde se lleva a cabo la sedimentación de los sólidos, se separan los aceites y grasas, así como el jabón. Posteriormente, el agua clarificada se transporta al segundo

contenedor a través de una tubería de PVC de 50 mm (Alvarado, 2007). Una vez que el segundo contenedor se llena, un flotador activa una pequeña bomba que envía el agua al estanque de almacenamiento final.

Para finalizar se creó un diseño en Adobe® Illustrator de ambos sistemas integrados creando un sistema híbrido para el almacenamiento de agua tratada en una vivienda social. El diseño propuesto se muestra en la Figura 19.

**Donde:**

- 1.-Captación
- 2.-Recolección y conducción
- 3.-Almacenamiento
- 4.-Bombas de agua

Figura 19. Sistema Híbrido de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises. *Fuente: Elaboración propia*

5.3. Tercera Parte: Determinación de la prefactibilidad técnica, económica y ambiental

5.3.1. Análisis Técnico

A continuación, se lleva a cabo el análisis técnico para la instalación de un sistema híbrido en la región de Valparaíso. En este análisis se considera la ubicación del proyecto, se determina el tamaño óptimo del estanque de almacenamiento en función del volumen de agua pluvial y aguas grises a ser recolectadas y se evalúan los costos asociados. Cuyo objetivo es estudiar la factibilidad de la instalación del sistema.

- **Localización del sistema híbrido:** Se ha definido para ser instalado en la región de Valparaíso. Con el objetivo de ocupar el menor espacio exterior y reducir los costos de instalación. Para lograr esto, se ha previsto la captación de aguas pluviales desde el techo de la vivienda, utilizando un estanque de almacenamiento y un sistema de aguas grises subterráneo para optimizar el espacio disponible.
Según los datos recopilados, se determina que la superficie mínima de una vivienda no debe ser inferior a 42 m^2 , de esta manera el modelo de casa utilizado en la figura 14 tiene de 40 m^2 , sin contar el patio de la vivienda.
En Chile, se presentan varios desafíos en relación con las viviendas sociales, las cuales están estrechamente ligado con la vivienda otorgada. Debido a que no es caso a caso, y no corresponde a las necesidades de cada familia, lo que se traduce en casas estándar para todos sin considerar las necesidades específicas como la cantidad de habitantes. (Biblioteca del congreso de Chile, s.f.). Por consiguiente, las necesidades de una familia compuesta por 3 personas difieren de las de una familia de 5 o 7 personas.
- **Producción de agua:** Está relacionada con la precipitación pluvial a lo largo del año y sus variaciones estacionales (Organización Panamericana de la Salud, 2004). Por lo tanto, se han utilizado datos de precipitaciones mensuales de dos estaciones en la región: la estación de Rodelillo y la estación Viña del Mar Ad. (Torquemada).
Según las Tablas N° 11 y 12, se ha identificado que el mes con mayor precipitación es junio, con un valor de 107 mm. Asimismo, según la tabla N° 13, en los últimos 10 años, el año 2023, se registró la mayor

precipitación promedio anual con 510 mm, proporcionando información relevante sobre la pluviometría de la zona.

- **Demanda de agua:** La viabilidad del proyecto depende de las necesidades y los usos que se les requiera dar. Por esta razón, el sistema está diseñado para complementar el suministro convencional de agua potable en una vivienda social ocupada por 5 personas, utilizando las aguas grises del lavamanos, lavadora y ducha de acuerdo con las normativas sobre aguas grises.
El volumen promedio mensual de captación de aguas lluvias es 2.860 L, mientras que la generación semanal de aguas grises es de 34.346 [L] en una semana.
Cabe mencionar que el estanque debe estar conectado al sistema de alcantarillado en caso que se llene para prevenir desbordamientos.
- **Costos de los suministros e insumos:** Para la selección del sistema, se tomó en cuenta la captación de agua pluvial considerando el espacio disponible y el costo de los materiales, sin incluir los costos relacionados con la contratación de personal para su construcción. Los costos asociados para la instalación de un sistema de este tipo están resumidos en la tabla N° 19.

Tabla N° 19. Costos de los materiales para el sistema de captación de agua lluvia.

Materiales de sistema de captación de agua lluvia		
Canaleta PVC	3 unidades	\$ 22.170
Bajada Canaleta PVC	2 unidades	\$ 8.380
Tubos para bajada de PVC	3 unidades	\$16.740
Tee de PVC	3 unidades	\$14.070
Codo Bajada de Aguas Lluvia	2 unidades	\$2.330
Electrobomba centrifuga	1 unidad	\$59.990
Filtro de sistema de recolección	1 unidad	\$13.737
Abrazadera canaleta PVC	6 unidades	\$5.940
Adhesivo PVC	1 unidad	\$2.990
Tornillos	1 caja	\$5.300
Tapa canaleta	4 unidades	\$1.856
Esquinero PVC	2 unidades	\$2.060
Gancho fijación canaleta PVC	6 unidades	\$5.940
Unión canaleta	4 unidades	\$2.120
Total		\$163.623

Fuente: Elaboración propia a partir de precios de Google Shopping.

El costo de implementación puede variar, por lo tanto, los valores proporcionados son aproximados.

Los costos asociados al funcionamiento del sistema de aguas grises están resumidos en la tabla N° 20.

Tabla N° 20: Costos de la instalación del sistema de aguas grises

Materiales de reutilización de aguas grises		
Tambor plástico (120 litros)	3 unidades	\$206.661
Grava	1 m ³	\$26.990
Arena	1 m ³	\$18.990
Tubos de PVC (50 mm)	3 unidades	\$14.130
Flotador de Nivel con cordón	1 unidad	\$9.323
Electrobomba centrífuga	1 unidad	\$59.990
Materiales de clarificación y desinfección	1 unidad	\$10.126
Estanque de almacenamiento 5400 Lts	1 unidad	\$505.830
Total		\$852.040

Fuente: Elaboración propia a partir de precios de Google Shopping.

5.3.2. Análisis Económico

La evaluación económica se realiza para determinar la viabilidad del proyecto y la inversión necesaria para llevarlo a cabo. En esta evaluación se analizan los costos de los materiales y el ahorro en el consumo de agua potable, calculados a partir de la demanda por artefacto previamente estimada, para la instalación del sistema híbrido.

Este proceso se llevará a cabo mediante un análisis de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). El VAN y la TIR son indicadores económicos que ayudan a determinar la rentabilidad de un proyecto (Puga Muñoz, s. f.). El VAN ajusta los flujos de efectivo futuros al valor presente, permitiendo evaluar la factibilidad (Rubilar, 2019).

Los criterios clave para tomar decisiones basadas en el VAN incluyen:

- $\text{VAN} > 0$, el proyecto es rentable
- $\text{VAN} = 0$, el proyecto es indiferente a ejecutar
- $\text{VAN} < 0$, el proyecto no es rentable

La Tasa Interna de Retorno, abreviada como TIR, representa la tasa de descuento que resulta en un Valor Actual Neto de cero. Esta medida representa la tasa de interés que un inversionista puede obtener. Se calcula encontrando la tasa que, al utilizarse en los flujos de caja netos, resulta en un VAN sea igual a cero. (Rubilar, 2019).

Los elementos fundamentales para realizar decisiones en la TIR son:

- $\text{TIR} > i$, el proyecto es rentable
- $\text{TIR} = i$, el proyecto es indiferente a ejecutar
- $\text{TIR} < i$, el proyecto no es rentable

La tasa de descuento empleada para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) puede ser:

- La tasa de interés de los préstamos, en caso de financiamiento con préstamos.
- La tasa de rendimiento de alternativas de inversiones si se financia con recursos propios.
- Una combinación de la tasa de interés de los préstamos y la tasa de rendimiento de las inversiones alternativas.

Determinar el VAN de un proyecto de inversión es suficiente para evaluar su viabilidad. El VAN también facilita la comparación de rentabilidad entre diferentes opciones de inversión. Incluso al considerar la venta de un negocio, el VAN permite determinar si el precio ofrecido es mayor o menor a lo que se obtendría al conservarlo (Puga Muñoz, s. f.).

Es fundamental tener en cuenta que se espera que la financiación del proyecto provenga del inversionista, por lo tanto, no se incluirán los pagos de intereses de préstamos bancarios. Además, para la elaboración de la tabla N° 21 y calcular el Van del proyecto, se considera como un análisis económico para el costo del proyecto, sin contemplar la mano de obra. Esto se debe a que en la realización del proyecto se deben tener en cuenta variables como la ubicación, el tipo de vivienda, las dimensiones de la casa y la distribución de las habitaciones, las cuales deben ser evaluadas individualmente.

Tabla N° 21: VAN y TIR del proyecto

Periodo Anual	0	1	2	3	4	5	6	7
Ingresos								
Ahorro de Agua		\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104
Costos								
Mantenimiento		\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252
Gastos Comunes		\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180
Total Costos		\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432
Utilidad		\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672
Inversión								
Capital Fijo	\$-1.015.663							
Reinversion								
Bombas								\$-119.980
Flujo de Caja	\$-1.015.663	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$145.692

Periodo Anual	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos								
Ahorro de Agua	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104	\$643.104
Costos								
Mantenimiento	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252	\$-20.252
Gastos Comunes	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180	\$-357.180
Total Costos	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432	\$-377.432
Utilidad	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672
Inversión								
Capital Fijo								
Reinversion								
Bombas							\$-119.980	
Flujo de Caja	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$265.672	\$145.692	\$265.672

VAN	\$44.539
TIR	16,52%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla N°22, se empleará una tasa de descuento del 15% para el proyecto con el fin de obtener un Valor Actual Neto (VAN) rentable.

Mediante las tablas N° 19 y 20 se suman los costos de los materiales utilizados en la fabricación e instalación, lo que facilita la evaluación de la inversión del proyecto. Se contemplan reinversiones para las bombas de agua, considerando una vida útil promedio de 7, 5 años (con un rango entre cinco y diez años) y la reinversión se efectúa en el séptimo año. Se estima que el estanque puede permanecer sin daños durante 50 años, por lo que no se considera una reinversión a corto plazo.

Tabla N° 22: Tasa de Descuento del proyecto

Tasa de Descuento	VAN
0%	\$2.729.457
5%	\$1.596.056
10%	\$911.896
15%	\$475.757,97
20%	\$183.650,12
25%	\$-20.803,42
30%	\$-169.558,77
40%	\$-368.213,96
50%	\$-492.965,55

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los costos operativos, se incluyen los gastos de mantenimiento de clarificación y desinfección, que se llevan a cabo cada 6 meses, es decir dos veces al año. Además, en los costos generales, como el consumo energético del proyecto, se considera el uso eléctrico de las bombas de agua, con aproximadamente 312 usos mensuales, calculado con el costo por kilovatio en la región, según las tarifas publicadas por el proveedor.

Es importante mencionar que los costos asociados con el consumo de agua potable y el uso de alcantarillado se fundamentan en los valores publicados por el proveedor de estos servicios en la región de Valparaíso, disponibles en la página web de ESVAL.

5.3.3. Análisis Ambiental

Este análisis tiene como objetivo determinar el impacto ambiental del sistema híbrido para evaluar su contribución a la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y del entorno. Se trabajará para mitigar o resolver estos impactos y prevenir retrasos y costos adicionales una vez que el proyecto esté en marcha. Estableciendo estrategias para cumplir con la

normativa ambiental y se identificarán y valorarán tanto los impactos negativos como los positivos (PADIT, 2019).

Es fundamental considerar las características y el estado actual del entorno biofísico y socioeconómico en el que operará el proyecto. Para la identificación de los impactos ambientales se analizó:

- El tipo de daño posible.
- Los beneficios de la instalación del sistema.
- Los riesgos asociados con el uso de artefactos y el agua tratada.
- La erosión del suelo.
- Y el riesgo de incumplir con las normativas ambientales.

Se pueden utilizar diferentes métodos, siendo las matrices uno de los más comunes para identificar los impactos y las características relacionadas con las acciones del proyecto. En este caso, se utilizará la “Matriz de Leopold”; que se basa en cuadros de doble entrada. En estas tablas, las filas enumeran los componentes del entorno que podrían verse afectados, mientras que las columnas detallan las actividades y características de los proyectos a desarrollar en cada etapa de la obra que podrían tener un impacto negativo en la calidad del entorno, así como las medidas para eliminar el peligro o riesgo asociado (Baja California-Gobierno del Estado et al., 2017).

5.3.3.1. Matriz de Leopold

La valoración de la Magnitud del Impacto, designada como M, se mide en una escala de 1 a 10, con un signo + o - que indica si el impacto es positivo o negativo, respectivamente. Por otro lado, la valoración de la Incidencia del Impacto, designada como I, se mide en una escala de 1 a 10. La suma de los valores de las filas reflejará las incidencias del conjunto en cada factor ambiental, mientras que la suma de los valores de las columnas proporcionará una evaluación relativa del efecto que cada acción tendrá en el medio ambiente.

Estas evaluaciones se realizan de manera subjetiva debido a la falta de criterios de valoración, pero si el equipo evaluador es multidisciplinario, el proceso será más objetivo y servirá como un estudio preliminar. De esta forma, la Matriz de Leopold se convierte en un elemento central en el Estudio del Impacto Ambiental al evaluar la magnitud e importancia de los impactos, formando parte integral de la Estructura de la Evaluación de Impacto Ambiental (Dellavedova, 2016).

En la tabla N° 23 se analizan varios impactos del sistema híbrido del proyecto, incluyendo aspectos relacionados con la tierra, el agua, la atmósfera, la flora, la fauna, el paisaje, la comunidad y las relaciones ecológicas. Se sugiere consultar el Anexo 2 para obtener más información detallada sobre la matriz de Leopold del caso de estudio.

Tabla N° 23: Matriz de Leopold aplicada al caso de estudio.

			Construcción				Operación				Mantenimiento				Afectaciones		Total Afectaciones	Impacto del agregado	
			Tuberías de distribución	Levantamiento de tierra	Materiales de Construcción	Transporte de Materiales	Generación de Lodos	Utilización de máquinas	Estanque de almacenamiento	Agua de primeras lluvias	Utilización del Agua tratada	Mantenimiento de máquinas	Limpieza de estanques	Limpieza de Tanques					Generación de Aguas de Limpieza
			Positivo	Negativo															
Características Físicas, Químicas y Biológicas	Tierra	Material de construcción	-2	-1	-3	-2									0	4	4	-11	
		Suelo	-1	-5	-2	-1	-3	-1	-2	4	9		-2	-2	3	9	12	2	
		Erosión		-4	3	-1	1	-1	3	-5	3	1			0	5	5	-32	
		Uso de productos químicos										-2	-4	-4	1	0	3	3	-12
	Agua	Calidad del agua					-3	10	6	-7	8	6	6	6	6	3	9	9	##
		Disminución de agua potable						2	3	3	1	9	3	-2	-2	1	4	5	20
	Atmosfera	Generación de ruido	-1	-3	-8	-1	1	-6	3		3	-1	-1	-1	1	0	8	8	-45
		Emisión de partículas de polvo	-1	-7		-2	1									0	3	3	-17
		Emisión de gases		1	2		1	-4	3		3	2	1	7	1	3	2	5	-11
	Flora	Generación de olores					-3	3	-2	3			7	8	1	2	2	4	0
		Cubierta Vegetal		-4	3	-1	1	-2	3	-7	3			1	1	0	4	4	-40
		Arboles										9	3			1	0	1	27
		Cosechas										9	3			1	0	1	27
	Fauna	Hierbas										9	3			1	0	1	27
		Aves		-3	1			-1	-2	3		5	3			1	3	4	3
		Animales terrestres, incluso reptiles		-1	1			-1	3	-4	3					0	3	3	-16
	Paisaje	Insectos		-1	1			-2	3						0	2	2	-7	
Calidad paisajística		-5	-2	-6	1	1	-5	-8	3			-1	-1	1	1	7	8	-53	
Comunidad	Modelos culturales (estilos de vida)		1	1	1	1		3		10	3	-1	1	1	1	0	1	30	
	Salud y Seguridad						-6	-1	3		7	-1	-5	-5	1	6	7	-3	
	Empleo	8	8		8	1					3	1	1	1	3	0	3	24	
Relaciones ecológicas	Eutrofización							-4	1		9	9	9	1	3	1	4	23	
	Vectores, insectos y enfermedades					-7		-1	2			-3	-3	-1	0	5	5	-16	
	Invasión de maleza	-1	1				-1	-1	1				1	1	0	3	3	-3	
Afectaciones	Positivo	1	1	0	2	0	1	1	1	9	3	4	4	1	28	77	105	17	
	Negativo	6	10	4	6	6	10	11	2	0	4	7	7	4					
Total Afectaciones		7	11	4	8	6	11	12	3	9	7	11	11	5	105				
Impacto del agregado		-3	-59	-30	1	-43	-34	-85	0	225	21	11	18	-5	17				

Fuente: Elaboración propia

Para categorizar el impacto del proyecto y determinar si es negativo o positivo, se emplearon las tablas N° 24 y 25. Se utilizará la información en color azul y amarillo del impacto de la tabla N° 23.

Tabla N° 24: Calificación Negativa del proyecto

Calificación Negativa		
Irrelevantes	0	-25
Moderados	-25	-50
Severos	-50	-75
Críticos		>-75

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 25: Calificación Positiva del proyecto

Calificación Positiva		
Poco Importante	0	25
Importante	25	50
Muy Importante		>50

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6: Resultados

En el transcurso de este estudio, se llevaron a cabo análisis de diversos factores con el fin de implementar el sistema híbrido para capturar aguas lluvias y reutilizar de aguas grises en la región de Valparaíso. Estos factores incluyen la cantidad promedio de precipitación, la localización geográfica, el tipo de residencia, la demanda de agua potable y los costos asociados a la construcción del sistema. Todo esto se hizo para determinar el diseño apropiado para las viviendas y evaluar la viabilidad del sistema.

A través de la metodología desarrollada, se logró estimar la cantidad de lluvia en la zona utilizando datos históricos de lluvia para dos estaciones de monitoreo, como se muestra en la figura 20, con la información previamente mencionada.

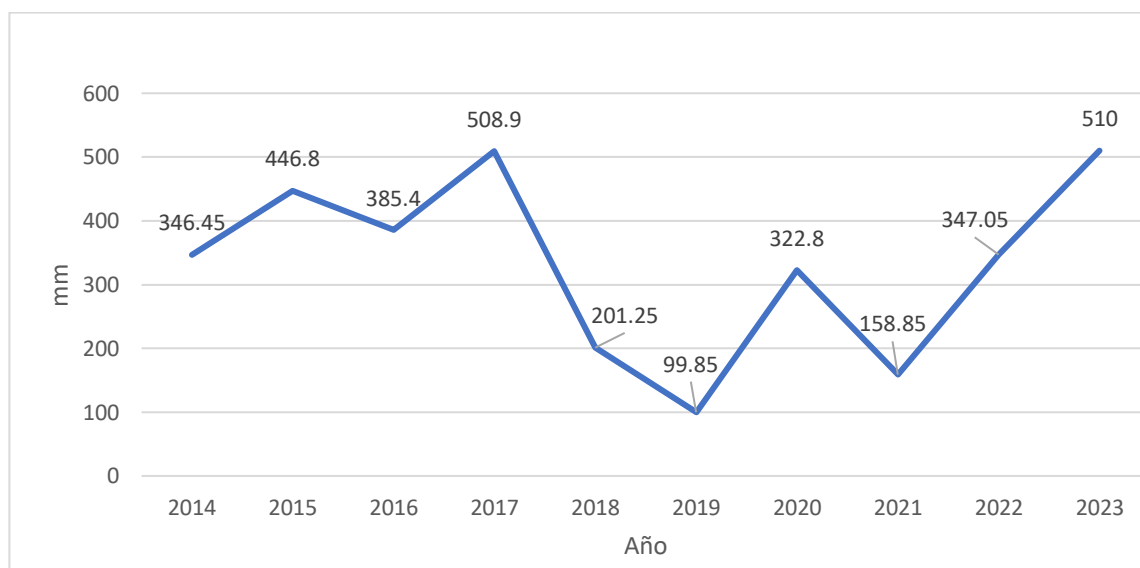


Figura 20. Promedio de la Precipitación Anual entre las estaciones de monitoreo de Rodelillo y Viña del Mar. *Fuente: Elaboración propia*

Se observa el registro pluviómetro anual de 10 años de la región de Valparaíso, lo que nos brinda información sobre el promedio de precipitación anual de la región a partir de las estaciones de monitoreo. Destacando los años 2017 y 2023 como los de mayor precipitación en la década analizada. Basándonos en estos datos, se calcula que la cantidad de agua lluvia captada es de 2.83 m^3 , equivalente a 2.863 litros, lo que compone la instalación del sistema de captación de aguas lluvias en techos.

Con relación al estudio sobre la reutilización de aguas grises, se determinó que la demanda diaria por artefacto en un hogar de cinco personas es de 18.480 litros para uso en riego e inodoro. Calculando el volumen mensual de aguas grises generado, se obtiene un total de 34.346 litros. La suma de las aguas captadas de lluvia y grises ascienden a 37.209 litros de agua captada mensualmente por el sistema híbrido. Para determinar el tamaño del estanque, se considera que, debido al espacio disponible en la vivienda, no puede exceder los 5.000 litros.

Con estos cálculos, se pudo evaluar la viabilidad económica según la tabla N° 21 El Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es crucial para la toma de decisiones ya que reconoce que el valor actual de peso no es igual al valor en 10 años. Esto no solo determina la viabilidad del proyecto, sino que también permite compararlo con otros proyectos. El VAN de este proyecto es de \$475.758 CLP y la Tasa Interna de Retorno (TIR) representa la tasa de interés que hace que el proyecto sea cero en términos financieros. De esta manera, se analiza la tasa de descuento de la siguiente manera:

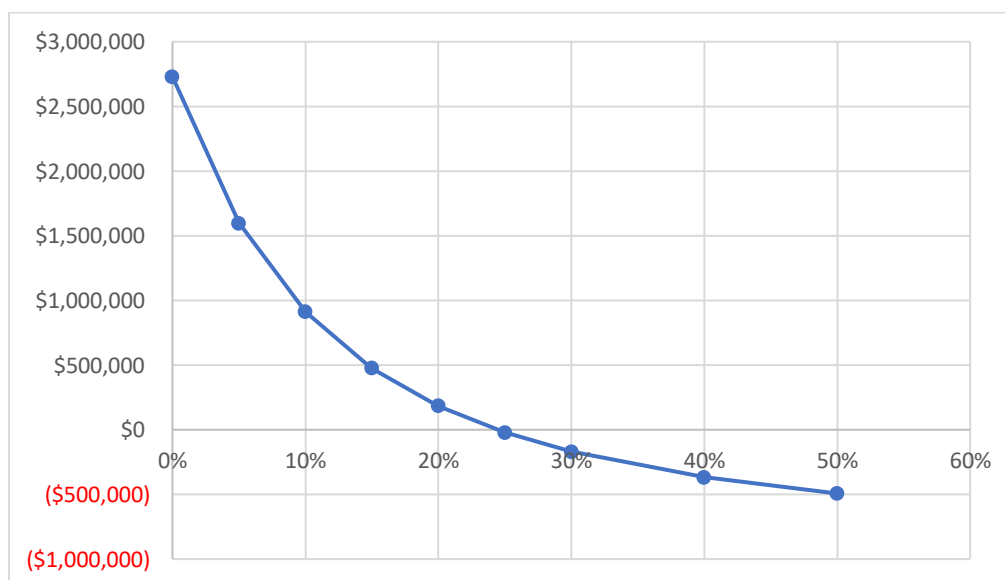


Figura 21. Valor Actual Neto según la tasa de descuento del proyecto. *Fuente: Elaboración propia*

Para calcular el costo de financiamiento, se tomó en cuenta el VAN en función de la tasa de descuento, según los porcentajes de la figura 21. Se observa que el VAN disminuye a medida que aumenta la tasa de descuento. Esto indica que a partir de una tasa de interés superior a la TIR de 24,41%, el sistema sufriría pérdidas en su implementación.

De igual manera, se evaluó la viabilidad ambiental del proyecto mediante una matriz de Leopold visualizada en la tabla N° 23. El análisis ambiental general indica que el tanque de almacenamiento tiene el mayor impacto con una calificación de -85. Aunque es crítico, se han considerado impactos como la afectación de insectos y animales si el tanque no está debidamente cubierto; si se implementan las medidas adecuadas, este impacto se reduce significativamente.

El aspecto con la calificación más alta corresponde a la utilidad del agua, con un valor de 225, clasificando el proyecto como muy importante según la tabla N° 25. En cuanto a los factores, nuevamente el tanque de almacenamiento destaca por su impacto al estar expuesto al exterior y poder afectar la estética paisajística con una calificación severa de -53. Por otro lado, los beneficios relacionados con la calidad del agua del proyecto serán muy significativos, con un valor de impacto total de 100. El ahorro de agua potable y los costos asociados, con la implementación del sistema es el mayor beneficio. En términos técnicos, económicos y ambientales, el sistema híbrido podría extenderse a las zonas urbanas y rurales de la región de Valparaíso. Aunque en muchas áreas el agua de lluvia es escasa, el sistema está diseñado para que durante los períodos de sequía se pueda utilizar el sistema de reutilización de aguas pluviales. La implementación de este sistema en viviendas sociales generaría un ahorro mensual de agua potable de \$53.591 por m^3 .

Capítulo 7: Conclusión

De acuerdo con el estudio, inicialmente se ha examinado la historia y los antecedentes de la universalización del acceso al agua potable en Latinoamérica y el Caribe, enfocándose en el contexto chileno y los avances de la potabilización del agua y el sistema alcantarillado, para obtener una comprensión más amplia del sistema en Chile. Se ha observado que el enfoque de la institucionalidad chilena ha permitido una visión integrada y coherente para el desarrollo del sector. Se ha resaltado la importancia del cambio climático y la crisis hídrica en la región de Valparaíso, lo que llevó al estudio de diversos sistemas para captación de aguas lluvias y de reutilización de aguas grises, con el fin de comprender las distintas tecnologías disponibles. En este sentido, se ha propuesto un sistema híbrido que combine la captación de aguas lluvias en el techo de la vivienda con un sistema de reutilización de aguas grises bajo tierra, considerando la limitada área superficial de la vivienda. Además, se ha realizado un análisis del marco teórico y normativo relacionado con la gestión del agua, abordando aspectos como la captación de aguas pluviales y la reutilización de aguas grises para asegurar que el sistema híbrido cumpla con los requisitos establecidos por la normativa.

Por lo tanto, las aguas recogidas del lavamanos, la ducha, la lavadora y la lluvia son bombeadas hacia un tanque de almacenamiento de 5.000 litros. Esta acción cumple con las regulaciones establecidas en la Ley 21.075, ya que se destinan exclusivamente al riego de árboles, jardines e inodoros, excluyendo su uso en hortalizas. De esta manera, se reduce el contacto con seres humanos y se previenen los riesgos asociados con la calidad del agua recogida.

Una vez que se ha determinado la ubicación, que estaría en la región de Valparaíso entre las estaciones de monitoreo de Viña del Mar (Torquemada) y Rodelillo, se realiza una estimación del consumo de agua y la viabilidad del proyecto. Como se mencionó anteriormente, el cambio climático y las crisis hídricas han creado la necesidad de implementar soluciones sostenibles para el recurso hídrico. En este contexto, el sistema híbrido se presenta como una alternativa para ahorrar agua potable, reducir el consumo y los costos, y contribuir al consumo de metros cúbicos en la región de Valparaíso.

La escasez de agua en Chile ha llevado a que aproximadamente un millón de personas y más de 383.204 viviendas no tengan acceso a agua potable. En la actualidad, el país enfrenta una de las deficiencias hídricas más significativas y prolongadas de su historia, afectando principalmente a las zonas entre las regiones de Atacama y la Araucanía (Fernández, 2022). Durante el año 2021,

se observó una disminución general en los caudales de los ríos, principalmente debido a la escasez de lluvias, con aumentos registrados únicamente en algunos ríos entre las regiones Metropolitana y O'Higgins, como resultado de los deshielos provocados por las altas temperaturas. Además, se prevé una reducción en los niveles de los embalses (ESVAL, 2021). Aunque el año 2023 fue bastante lluvioso, no logra compensar el déficit hídrico en la región, ya que las precipitaciones varían anualmente en milímetros.

Posteriormente, a través de la metodología propuesta, se ha establecido un enfoque integral para evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de estos sistemas híbridos. Durante la etapa de prefactibilidad, se realizaron análisis de los componentes del sistema híbrido y de los factores involucrados en su desarrollo, teniendo en cuenta los costos y el espacio de las viviendas para seleccionar el mejor sistema. En este sentido, se considera que la inversión inicial debe basarse en el capital ya adquirido.

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se utilizó el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Un VAN igual o mayor a 0 indicaría beneficios económicos del sistema. Posteriormente, se analizó el sistema utilizando una matriz de Leopold, resaltando los resultados favorables para su implementación. La implementación del sistema híbrido de captación de aguas pluviales y reutilización de aguas grises garantiza una fuente de agua para uso en los artefactos del hogar en situaciones críticas como la escasez de agua, cortes en el suministro, incendios forestales, entre otros. En caso de que las viviendas se vean afectadas, tendrían una forma de abastecerse de agua para los usos permitidos por la normativa sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises.

Finalmente, la recolección de agua de lluvia contribuye a la preservación del medio ambiente y es una forma económica de obtener agua para diversos usos. Esta práctica permite complementar el suministro de agua y en áreas vulnerables, aumenta el acceso a la misma, ya sea por falta de servicio de abastecimiento constante o inexistente. De esta manera, el sistema híbrido se posiciona como una alternativa para acceder al agua, promoviendo el bienestar de las personas y el cuidado del entorno.

Como se observó durante el desarrollo de las viviendas, en la década de los setenta, donde los problemas de habitabilidad estaban relacionados con barrios informales. Fue en 1979 cuando el gobierno estableció una nueva Política Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU) que restableció los programas de acceso a la vivienda. En este contexto, el Estado se convirtió en el principal financiador y proporcionó los recursos necesarios para que la población pudiera

acceder a viviendas (Pflieger, 2008). Como resultado, las poblaciones que anteriormente carecían de viviendas con acceso a servicios básicos lograron, cada vez más, conectarse a las redes domiciliarias gracias al nuevo plan implementado. En cuanto al financiamiento del sistema híbrido, se pueden considerar concursos públicos, subsidios estatales o reformas en los servicios sanitarios para integrar esta nueva visión en el sistema actual.

Capítulo 8: Contribución esperada y productos esperados

- ✓ **Contribuciones al conocimiento Académico:** Puede contribuir al avance del conocimiento en el campo de la gestión del agua, sistemas de agua potable y alcantarillado, así como en la implementación de sistemas híbridos de captación de agua.
- ✓ **Sostenibilidad en los sistemas de Agua Potable:** Los sistemas híbridos de captación de aguas lluvias, tratamiento de aguas grises y captación de agua atmosférica se desarrollarían soluciones sostenibles en comunidades o viviendas particulares.
- ✓ **Contribuciones en la creación de casas sustentables:** La visión de un nuevo sistema de reutilización de las aguas permitiría un diseño sostenible de aguas en una vivienda en la región de Valparaíso.
- ✓ **Sostener la crisis hídrica en la región de Valparaíso:** En el contexto del proyecto podría contribuir al desarrollo de viviendas sociales sostenibles y a la reducción de la dependencia del sistema de agua convencional para actividades cotidianas.

Capítulo 9: Referencias

1. Acosta, S., Quiroa, J., & Villanueva, J. (2018). Vista de Captación de agua de lluvia: tipos, componentes y antecedentes en zonas áridas de México, como estrategia de uso sustentable del agua. Vivienda y Comunidades Sustentables. <https://revistavivienda.cuaad.udg.mx/index.php/rv/article/view/32/53>
2. Agatón, A. L., Córdoba, J. C., & Carreño, U. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. SciELO Colombia- Scientific Electronic Library Online. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2016000400010
3. Agua de barrio. (2022). Agua de Barrio. <https://www.aguasdebarrio.cl/wp-content/uploads/2019/03/ESTANQ1.pdf>
4. Anaya, M., Pérez, A., & López, N. (2018). Manual Técnico Sistemas de Captación del Agua de Lluvia (SCALL). Colegio Nacional de Ciencia y Tecnología. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/2018.-Manual-Técnico-Sistemas-de-captación-de-agua-de-lluvia.pdf>
5. Alayo, M., & Franklin, A. (2019). Evaluación y mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable del caserío Racrao Bajo, distrito de Pariacoto, provincia de Huaraz, región Áncash; y su incidencia en la condición sanitaria de la población – 2019. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote. <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/14576>
6. Allen, L., (2015). Manual de Diseño para manejo de aguas grises para riego exterior. Greywater Action. <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>
7. Alegría, E. C. C. M. (2004). Análisis del proceso de privatización de los sistemas de agua potable y saneamiento urbanos en Chile. https://abrh.s3.saeast1.amazonaws.com/Sumarios/64/fa410acc3dfb85bde305e961484eadd_d007d232a2b506b89cfa4663203c837b.pdf
8. Andess (s.f.). Calidad del agua potable en Chile. Andess.cl. <https://www.andess.cl/calidad-del-agua-potable-en-chile/>
9. Área Técnica Chile Green Building Council. (2021). Manual de Paisajismo Sustentable. Chile GBCh [https://www.chilegbc.cl/assets/images/documentos/Manual_Paisajismo_ChileGBC_final_2021%20\(Interactivo%20Web\).pdf](https://www.chilegbc.cl/assets/images/documentos/Manual_Paisajismo_ChileGBC_final_2021%20(Interactivo%20Web).pdf)

10. Banco Mundial. (2022).

Agua. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>

11. Baeza, E. (2017). Experiencia comparada en materia de aguas grises (recolección, tratamiento y disposición). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile BCN. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/24591/2/Informe_Experiencia_Aguas_Grises.pdf
12. Baeza, E., (2023). Regulaciones en Chile y el extranjero en materia de aguas grises (recolección, tratamiento y usos). Asesoría Técnica Parlamentaria. Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía del Senado. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34597/2/Informe_Regulaciones_Aguas_Grises.pdf
13. Bellolio A. J, (2023). Analisis del potencial de reutilización de aguas grises domésticas en zonas urbanas de Chile como una alternativa de adaptación frente al escenario de estrés hídrico nacional. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción. http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/11288/1/Bellolio%20Victoriano_Augusto%20%20Tesis.pdf
14. Belelli, E., & Vázquez, L. (2018). Captación de agua de lluvia. INTA Ediciones. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/libro_captacion_de_agua_de_lluvia_-_digital.pdf
15. Biblioteca del Congreso Nacional. SIIT. (2005). Región de Valparaíso. Bcn.Cl. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5>
16. Biblioteca del Congreso Nacional. (2018). Drenaje de aguas lluvia y residuales. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26134/2/Informe_Drenaje_Pluvial_y_Residuales.pdf
17. CÁMARA DE DIPUTADAS Y DIPUTADOS. (s. f.). Proyecto de ley que modifica la Ley General de Urbanismo y Construcciones estableciendo una superficie mínima para las viviendas económicas y sociales y otras exigencias que indica. CÁMARA DE DIPUTADAS y DIPUTADOS. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=14148&prmTIPO=INICIATIV A>
18. Campoverde, M. (2017). Remoción de Materia Orgánica mediante Chrysopogon zizanioides en el tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de Citrar. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/246/1/Campo verde_Martin_Trabajo_Suficiencia_2017.pdf

19. Carrasco, J., Aguirre, C., & Cáceres, E. (2019). Técnica de Captación y Acumulación de Aguas Lluvia “Modelo INIA” Apropiaada para la pequeña agricultura. Mejoramiento de la Resiliencia al Cambio Climático de le pequeña Agricultura de la Región de O’Higgins. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67313/NR42474.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
20. Castro, P., & José, M. (2019). Eficiencia de la captación de agua por sistemas de atrapaniebla tridimensional y estándar en el “cerro verde” distrito de Lurigancho Chosica, Lima. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3027>
21. Chechilnitzky, A., et al, (2017) Aguas Grises, un recurso latente. AIDIS Chile. <https://www.aidis.cl/wp-content/uploads/2016/10/REVISTA-AIDIS-2017-.pdf>
22. Chuqui, E., Saenz, C., (2022). Tratamiento de aguas grises con fines de reutilización en viviendas del condominio Los Pinos – Chimbote, 2022. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/104672/Chuqui_MEN-Saenz_ACDJ%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
23. Contreras, M. (2016). Efectos del cambio climático son una realidad en la región de Valparaíso. Recuperado de: <https://www.upla.cl/noticias/2018/06/26/efectos-del-cambio-climatico-son-una-realidad-en-la-region-de-valparaiso/>
24. Cisneros Valdez, P. E. (2016). Recolección en techos | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! Home | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua-del-sistema/captacion-4/recolección-en-techos>
25. Clima: Valparaíso en Chile. (s. f.). DatosMundial.com. <https://www.datosmundial.com/america/chile/clima-valparaiso.php>
26. Conagua (2016). Lineamientos técnicos: Sistemas de captación de agua lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda. Programas de Agua Potable. Secretaría del Medioambiente y Recursos naturales. Estados Unidos Mexicanos. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/2016.-Lineamientos-técnicos-captación-de-agua-de-lluvia-con-fines-de-abasto-de-agua-potable.-CONAGUA.pdf>
27. Comisión Nacional del Agua. (2016) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Obras de Captación Superficiales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Coyoacán, México. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro7.pdf>

28. Currículum Nacional. (s.f). Mapa región de Valparaíso (color) - Mapa región de Valparaíso (color). Aprendo en Línea - DOCENTE.. Mineduc. Gobierno de Chile
<https://www.curriculumnacional.cl/docentes/Educacion-General/Historia-Geografia-y-Ciencias-Sociales-1-basico/HI01-OA-09/132539:Mapa-region-de-Valparaiso-color>
29. DELLAVEDOVA, M. G. (2016). Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Universidad Nacional de la Plata. o-17-Guía-metodológica-para-la-elaboración-de-una-EIA.pdf"><https://blogs.ead.unlp.edu.ar/planeamientofau/files/2013/05/Ficha-No-17-Guía-metodológica-para-la-elaboración-de-una-EIA.pdf>
30. Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). (s.f.). Agua Potable Rural. <https://doh.mop.gob.cl/productosyservicios/tiposproducto/Paginas/default.aspx>
31. Duque Pardo, V., Mora Estupiñan, M. C., & Muñoz Cardenas, L. M. (2020). Análisis de viabilidad de captación de agua atmosférica como fuente alterna de abastecimiento para el municipio de Villavicencio, Meta. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22665>
32. Echaide, J. I. (2018). El derecho humano al agua potable y los tratados de protección recíproca de inversiones (Tesis de doctorado). Universidad de Buenos Aires (UBA) - Facultad de Derecho. http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsdli/collect/adrposgra/index/assoc/HWA_6017.dir/6017.PDF
33. Escasez hídrica en Chile: Desafíos de un futuro con menos agua. (2022). Uchile.cl. <https://uchile.cl/noticias/200549/escasez-hidrica-en-chile-desafios-de-un-futuro-con-menos-agua>
34. Espinal Velásquez, C. M., Ocampo Acosta, D., & Rojas García, J. D. (2013). Diseño y simulación de un sistema para el reciclaje de aguas grises en el hogar. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/items/f4fa5fb2-02df-40e4-940e-1a7d89dfb228>
35. EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA Plan Regional de Ordenamiento Territorial Región Valparaíso Continental INFORME AMBIENTAL. (2015). Gob.Cl. https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/02_IA-Incompleto_PROT_Valparaiso_Continental.pdf.pdf
36. Fernández Morís, I. (2022). *Evaluación de la Institucionalidad española para la gobernanza y gestión en el saneamiento de las aguas servidas*

en zonas rurales en Chile. Universidad de Valladolid.

<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/55669>

37. Flores, B., Granados, O., (2016). Elaboración de un sistema para la reutilización del agua residual de la lavadora, adaptable al proceso constructivo de una batería de lavado. Universidad La Gran Colombia. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3984/Monografía%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
38. Franco Alvarado, M. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104596>
39. García, L., & Iannacone, J. (2014). PSEUDOMONAS AERUGINOSA UN INDICADOR COMPLEMENTARIO DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO A NIVEL DE SUDAMÉRICA. The biologist, 12(1). <https://doi.org/10.24039/rtb2014121395>
40. García, J. A., & Loguercio, N. G. (2016). Captación y aprovechamiento de agua e lluvia en América Latina: experiencias y conclusiones de un debate. https://www.estudiospnud.cl/wp-content/uploads/2020/04/undp_cl_medioambiente_Captacion-agua-lluvia-AL.pdf
41. Gobierno de Chile. (s.f.). Región de Valparaíso. <https://www.gob.cl/regiones/region-de-valparaiso/>
42. González, E. (2021). Propuesta de diseño de un sistema domiciliario de reutilización de aguas grises, destinado al riego subsuperficial de un jardín y la recarga de un inodoro. Repositorio Digital USM. <https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/abe32215-0b77-4785-a3e4-d71db0db56ec/content>
43. Gualdron Becerra, N. (2014). "Captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas El Salado y La Aguada del municipio de Lebrija, Santander, Colombia" (Tesis de magíster). Universidad de Manizales. https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/1714/Gualdron_Becerra_Nelsy_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
44. Gutiérrez, E. C., Rodríguez, Á. A., & Jaramillo, J. J. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. <https://www.redalyc.org/journal/104/10450491009/html/>
45. José Elías Bonells, V. T. L. E. (2020, 27 diciembre). USO DE LOS ARBOLES PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS PLUVIALES. Jardines

- Sin Fronteras. <https://jardinessinfronteras.com/2020/12/27/uso-de-los-arboles-para-el-manejo-de-las-aguas-pluviales/>
46. Ley 21.075 de 2018. Regula la Recolección. Reutilización y Disposición de Aguas Grises. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1115066>
 47. Marcela, L. C. S., Esther, M. C. J., & Alexander, R. C. E. (2020, 1 julio). Diseño de sistema de tratamiento de aguas grises de la zona turística del mirador los Planes de Renderos, Panchimalco. <https://repositorio.ues.edu.sv/items/8879bc81-1625-4c02-b9db-32609155633c>
 48. Málaga, V., (2017). Tratamiento de aguas grises para reutilizar en servicios higiénicos de una vivienda multifamiliar del edificio Canto Bello en San Juan de Lurigancho. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16657/Valera_MAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 49. Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Cambio Climático. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/15-cambio-climatico.pdf>
 50. Ministerio de salud. (s. f.). PROYECTO DE REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS BÁSICAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES. Mma. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Grises.pdf>
 51. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). Manual de Elementos Urbanos Sustentables. Gobierno de Chile. <https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/10/MEUS-Tomo-I-Ed.3-digital-OK.pdf>
 52. Monzón, V., & James, J. (2017). Diseño del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para el Caserío de Mazac, Provincia de Yungay, Ancash - 2017. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/12264>
 53. Muñoz, M., García, F., & Vasco, D. (2015). EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MATERIAL DE CAMBIO DE FASE (PCM) MODIFICADO CON NANOPARTÍCULAS EN LA ENVOLVENTE TÉRMICA DE UNA VIVIENDA SOCIAL MEDIANTE EL SOFTWARE ENERGYPLUS. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/313554918_Evaluacion_de_la_implementacion_de_un_material_de_cambio_de_fase_modificado_con_nanoparticulas_en_la_envolvente_termica_de_una_vivienda_social_mediante_el_software_EnergyPlus

54. Noe, P. (2023, 15 septiembre). Jardines de Agua comunitarios en Santiago | Escenarios Hídricos 2030. Escenarios Hídricos 2030. <https://escenarioshidricos.cl/noticia/jardines-de-agua-comunitarios-en-santiago/>
55. OPS, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (2020). Guía de diseño para captación del agua de lluvia. <https://sswm.info>.
<https://bibliotecaambiental.ambiente.gob.sv/documentos/guia-de-diseno-para-captacion-del-agua-de-lluvia/>
56. Olivares, R. G. (2019, 11 mayo). Un modelo que no da más: Las críticas al actual sistema de viviendas sociales - Radio JGM. Radio JGM. <https://radiojgm.uchile.cl/un-modelo-que-no-da-mas-las-criticas-al-actual-sistema-de-viviendas-sociales/>
57. Organización Panamericana de la Salud. (2004). GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA. OPS. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202004.%20Guia%20de%20diseño%20para%20captación%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf
58. Ortiz, W. A., Velandia, W. D. (2017). Propuesta para la captación y uso de Agua Lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de Agua. Universidad Católica de Colombia Dirección de Investigaciones Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería Civil Bogotá <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/131b854b-ac22-471f-b443-3844546f04f8/content>
59. PADIT. (2019). Análisis de la factibilidad ambiental de proyectos. UNDP. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/PADIT_Análisis%20de%20la%20factibilidad%20ambiental%20de%20proyectos%20de%20desarrollo%20local.pdf
60. Palacio Castañeda, N., (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Gestión y Ambiente, 13(2), 25-39.
a. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169420002002>
61. Pflieger, G. (2008). Historia de la universalización del acceso al agua y alcantarillado en Santiago de Chile (1970-1995). *EURE. Revista*

Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales, XXXIV(103), 131–152.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19611481007>

62. Pizarro, R., Abarza, A., & Morales, C. (2015). Manual de Diseño y Construcción de Sistemas de captación de Aguas Lluvias en zonas rurales de Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://www.cuhs.utralca.cl/ex-ctha/Docs/pdf/Publicaciones/Manual%20Scalls%20Unesco%202015.pdf>
63. Pizarro, R., Villanelo, J. P. F., Pool, C. S., Araya, E. M., & Gutiérrez, L. L. (2008b). Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Bosque*, 29(2). <https://doi.org/10.4067/s0717-92002008000200006>
64. Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises. (s.f.). MMA – Ministerio del Medio Ambiente. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Grises.pdf>
65. Reporte Sostenibilidad. (2021). ESVAL. <https://www.esval.cl/media/g2vpce54/reporte-de-sostenibilidad-esval-2021-2.pdf>
66. Reyes, M. C., & Rubio, J. (2014). Descripción de los Sistemas de Recolección y Aprovechamiento de Aguas Lluvia. Facultad de Ingeniería Coordinación Trabajo de Grado Universidad Católica de Bogotá. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0657ae70-006b-468b-afe1-60f2f4d2a7f2/content>
67. Rico Amorós, A. M. (2004). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, [37]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=930123>
68. Robertsonatale. (2023, 11 julio). Diseño de un jardín de lluvia: la guía técnica - BibLus. BibLus. <https://biblus.accasoftware.com/es/disenio-de-un-jardin-de-lluvia/>
69. Robert Pullés, M., (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 45(1), 25-36.
70. Romero, C. M. (2022). Manejo privado y público de los sistemas de abastecimiento urbano de agua y saneamiento: De la privatización a la remunicipalización. *Ingeniería y Competitividad*, 24(1). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8637729>

71. Rubilar, C. (2019). Estudio de prefactibilidad técnico-económico para la creación de una empresa de asesoría para la gestión de calidad en empresas constructoras. repositorio.usm.
<https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/922b52ce-281e-43e8-8d3a-acb69d3f48f1/content>
72. Ruiz Castillo, M. A., (2019). Sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises aplicables a sectores urbanos con déficit hídrico. Universidad Técnica Federico Santa María.
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48671/3560901543551 UTFSM.pdf?sequence=1>
73. Sanz, S., (s.f.). Instalación de un sistema de reciclaje y de recogida de aguas pluviales para reducir el consumo doméstico de agua en un bloque de viviendas estándar de la ciudad de Barcelona. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11751/PFC_Salvador_Sanz_Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
74. S. Saravia Matus y otros, “Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe”, serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 198 (LC/TS.2020/134), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.
https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46503/S2000726_es.pdf
75. Sierra Mesa, J. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales. Uniandes.
a. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/9493>
76. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (s.f.). Historia de la SISS <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6316.html>

77. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (s.f.). Agua potable y alcantarillado <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6316.html>
78. Tilley, E. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. <https://biblus.accasoftware.com/es/disenio-de-un-jardin-de-lluvia/>
79. Toro, L. A. , (2021). Analisis de pavimentos permeables como solución alternativa al problema de inundaciones en la calle 22 y la carrera 5 de la ciudad de Santa Marta, la calle 17 y la 12 en Barranquilla y la Calle 1 de Valledupur entre los años 2015-2021. Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Civil Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/fb429b00-485b-4640-84cf-e478dbae0420/content#:~:text=Función%20de%20los%20pavimentos%20permeables,suministros%20de%20agua%20subterránea%20localmente>
80. Uchile. (s. f.). Las lluvias a lo largo y ancho de Chile explicadas en 10 datos. <https://uchile.cl/noticias/144130/las-lluvias-a-lo-largo-y-ancho-de-chile--explicadas-en-10-datos>
81. Ulacia, R. (2024). Sistemas de captación de aguas lluvias. Periódico digital de divulgación de la Red del Agua Impluvium. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>
82. Urbina, I. (2023, 18 junio). Los revestimientos para cubiertas más utilizados por los chilenos. La Cuarta Constructor. <https://constructor.lacuarta.com/noticias/vitrina-del-maestro/los-revestimientos-para-cubiertas-mas-utilizados-por-los-chilenos.html>
83. USM Water Management. (2023). USM Water Management. <https://watermanagement.usm.cl/2023/07/26/difcil-reutilizacion-de-aguas-grises/>
84. Verde, M. I. (2021, 28 abril). ¿Qué hacen las plantas en un biofiltro? Moksa Ingeniería Verde. <https://moksa.com.co/que-hacen-las-plantas-en-un-biofiltro/>

85.Verdeac. (2021, 9 noviembre). Riego eficiente en techos vegetales con sedums VerdeActivo - Techos Verdes. VerdeActivo - Techos Verdes. <https://verdeactivo.cl/riego-eficiente-en-techos-vegetales-con-sedums/>

Capítulo 10: Anexos

Anexo 1: Catálogo de viviendas tipo para enfrentar reconstrucciones y aplicar subsidio DS-49



Fuente: [Fhttps://serviumaule.minvu.gob.cl/noticia/catalogo-de-viviendas-tipo-para-enfrentar-reconstrucciones-y-aplicar-subsidio-ds-49/](https://serviumaule.minvu.gob.cl/noticia/catalogo-de-viviendas-tipo-para-enfrentar-reconstrucciones-y-aplicar-subsidio-ds-49/)

Anexo 2: Matriz de Leopold

Parte A

Factores del Medio			Construcción				Operación				
			Tuberías de distribución	Levantamiento de tierra	Materiales de Construcción	Transporte de Materiales	Generación de Lodos	Utilización de maquinas	Estanque de almacenamiento	Agua de primeras lluvias	Utilización del Agua tratada
Características Físicas, Químicas y Biológicas	Tierra	Material de construccion	-2	-1	-3	-2					
		Suelo	-1	-5	-2	-1	-3	-1	-2	4	9
		Erosión		-4		-1		-1	-5	-1	
		Uso de productos quimicos		3		1		3	3	1	
	Agua	Calidad del agua					-3	10	6	-7	8
		Disminución de agua potable					2	3	3	1	9
	Atmosfera	Generación de ruido	-1	-3	-8	-1		-6			
		Emision de particulas de polvo	-1	-7		-2		3			
		Emision de gases		2		1	-4	-3			
		Generacion de olores					-3	3	-2	3	
	Flora	Cubierta Vegetal		-4		-1		-2	-7		
		Arboles		3		1		3	3		9
		Cosechas									9
		Hierbas									9
	Fauna	Aves		-3				-1	-2		5
		Animales terrestres, incluso reptiles		-1				-1	-4		
		Insectos		-1				3	3		
	Paisaje	Calidad paisajistica	-5	-2	-6	1		-5	-8		
		Modelos culturales (estilos de vida)		1	1	1		3	3		10
	Comunidad	Salud y Seguridad					-6	-1			7
		Empleo	8	8		8	1	3			
			1	1		1					
	Relaciones ecologicas	Eutrificacion							-4	1	
		Vectores, insectos y enfermedades					-7		-1	2	
		Invasion de maleza	-1				1	-1	-1	1	
	Afectaciones	Positivo	1	1	0	2	0	1	1	1	9
		Negativo	6	10	4	6	6	10	11	2	0
Total Afectaciones			7	11	4	8	6	11	12	3	9
Impacto del agregado			-3	-59	-30	1	-43	-34	-85	0	225

Parte B

Factores del Medio			Mantenión				Afectaciones		Total Afectaciones	Impacto del agregado
			Mantenion de maquinas	Limpieza de estanques	Limpieza de Tambores	Generacion de Aguas de limpieza				
							Positivo	Negativo		
Características Físicas, Químicas y Biológicas	Tierra	Material de construccion					0	4	4	-1
		Suelo		-2	-2	2	3	9	12	2
		Erosión		1	1	1	0	5	5	-32
		Uso de productos quimicos	-2	-4	-4	1	0	3	3	-12
	Agua	Calidad del agua	6	6	6	-1	6	3	9	100
		Disminución de agua potable	-2	-2	-2	-1	1	4	5	20
	Atmosfera	Generación de ruido	-1	-1	-1	1	0	8	8	-45
		Emision de particulas de polvo					0	3	3	-17
		Emision de gases	2	1	1	1	3	2	5	-11
		Generacion de olores		7	8	1	2	2	4	0
	Flora	Cubierta Vegetal					0	4	4	-40
		Arboles					1	0	1	27
		Cosechas					1	0	1	27
		Hierbas					1	0	1	27
	Fauna	Aves					1	3	4	3
		Animales terrestres, incluso reptiles					0	3	3	-16
		Insectos					0	2	2	-7
	Paisaje	Calidad paisajistica		-1	-1	1	1	7	8	-53
	Comunidad	Modelos culturales (estilos de vida)					1	0	1	30
		Salud y Seguridad	-1	-5	-5	-4	1	6	7	-3
		Empleo					3	0	3	24
	Relaciones ecologicas	Eutrificacion	9	9	9	1	3	1	4	23
		Vectores, insectos y enfermedades		-3	-3	-1	0	5	5	-16
		Invasion de maleza					0	3	3	-3
Afectaciones	Positivo	3	4	4	1	28	77	105	17	
	Negativo	4	7	7	4	77				
Total Afectaciones			7	11	11	5	105			
Impacto del agregado			21	11	18	-5	17			