Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA EL PROYECTO "CENTRO DE COMPOSTAJE VILLA ALEMANA"

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR: FERNANDA CÓRDOVA BARRIENTOS

PROFESOR GUÍA: OCIEL COFRÉ CARVAJAL

VALPARAÍSO, 2024

Resumen

El agua es un recurso vital y escaso: solo el 0,62% es apta para consumo humano. La escasez representa un desafío global creciente, y se proyecta que Chile enfrentará una escasez hídrica extrema para el 2050. En este contexto, el tratamiento y reutilización de aguas grises emerge como una posible solución, respaldada por regulaciones y proyectos exitosos tanto en Chile como en otros países.

En la comuna de Villa Alemana, la Dirección Ambiental Municipal, promueve diversas iniciativas de sostenibilidad, entre ellas un proyecto llamado "Centro de Compostaje de Villa Alemana" que pretende tratar los residuos orgánicos de la comuna. Sin embargo, el terreno del proyecto carece de alcantarillado y suministro de agua potable, por lo tanto, se plantea la necesidad de mejorar la gestión del recurso hídrico.

En el presente trabajo se hace una propuesta de un sistema para recuperar y depurar las aguas grises generadas en las oficinas del "Centro de Compostaje de Villa Alemana" para posteriormente reutilizarlas en el riego de las áreas verdes del proyecto. La metodología incluyó un levantamiento de las características técnicas del proyecto, mediante la revisión y síntesis de la información presente en la Declaración de Impacto Ambiental. Posteriormente, se realizó el dimensionamiento del sistema de tratamiento propuesto, revisando las diferentes tecnologías utilizadas en tratamiento de aguas grises, calculando balances de masa y energía, y determinando la disposición final de los residuos y mantención de los equipos. Finalmente, se evaluó económicamente el sistema propuesto, calculando los costos de inversión y operación, los ingresos por concepto de ahorro de agua potable, y se calculó la viabilidad económica de la propuesta mediante el Valor Actual Neto (VAN).

Los resultados revelan que el abastecimiento de agua potable será mediante camiones aljibes, con un consumo estimado de 150 litros/día por trabajador y de 25 litros/día por visitante. El sistema de alcantarillado cuenta con una fosa séptica, cuatro drenes de absorción y dos cámaras desgrasadoras, que tratarán las aguas de la cocina y de los lavaderos. El proyecto contempla una faja arborizada con 50 árboles nativos, los cuales serán regados con el agua de los camiones aljibes. El sistema de tratamiento propuesto comprende cinco etapas: filtración por malla, almacenamiento inicial, un tratamiento en un humedal vertical, desinfección con luz UV y almacenamiento final. Este proceso permite tener un efluente con concentraciones que cumplen con los límites que establece la normativa. El sistema generará 58,8 m^3/mes de agua tratada, suficiente para el riego de la faja arborizada que requiere de 22,73 m^3/mes, logrando un ahorro de agua del 38,7%. Si bien el análisis económico arroja un VAN de -117,06 UF, la implementación del sistema ofrece beneficios ambientales y sociales significativos, posicionándose como una solución viable para la gestión hídrica sostenible de Villa Alemana. Esta propuesta no solo atiende las necesidades inmediatas del centro de compostaje, sino que también establece un precedente para futuras iniciativas de gestión del agua en la región.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer desde lo más profundo de mi corazón a mi familia que me apoyó incondicionalmente en este largo trayecto, especialmente a mis padres Claudio y Luisa, y a mi hermana Francisca, que con su ayuda y su cariño he podido llegar hasta este momento. También quiero agradecer a mi perrito Pipo que fue mi apoyo emocional durante estos años y me acompañó cada día y noche de estudio, desvelándose junto conmigo. Los amo a cada uno de ustedes, gracias por ser parte de mi vida.

Agradezco a mi compañera de universidad María José que desde el primer año estuvimos juntas en cada trabajo y formó parte esencial de mi vida universitaria, sin tus habilidades para los estudios y tu apoyo no habría podido llegar tal lejos, gracias por estar a mi lado en este proceso. A Javiera y Matías por estar siempre presente en los trabajos y por apoyarme en este último año en el proceso de hacer la tesis. También quiero agradecer al resto de mis compañeros de generación y de otras más antiguas, por cada ayuda y cooperación cuando lo necesitaba en cada asignatura.

Agradezco a mi profesor guía Ociel por sus contribuciones y su apoyo para llevar a cabo este trabajo de título. También al resto de mis profesores que formaron parte de mi vida universitaria, cada uno de ustedes me enseñó a conocer y valorar esta carrera.

También agradezco a Alejando Vives de la Dirección Ambiental de Ilustre Municipalidad de Villa Alemana, por darme la oportunidad de realizar mi práctica profesional y de realizar mi tema de tesis con ellos.

Gracias a todos por estar.

Índice

1.Introducción....1

1.1 El Agua....1

1.1.1 Escasez hídrica en el mundo y en Chile....1

1.1.2 Demanda de agua potable en Chile....2

1.2 Aguas Residuales....3

1.2.1 Experiencias en el tratamiento y reutilización de aguas grises en el mundo y Chile....4

1.2.1.1 Experiencia de reutilización de aguas grises en el mundo....4

1.2.1.2 Experiencia de reutilización de aguas grises en Chile....7

1.3 Caracterización de la comuna de Villa Alemana....10

1.3.1 Descripción de la comuna de Villa Alemana....10

1.3.2 Ilustre Municipalidad de Villa Alemana....11

1.3.3 Proyecto "Centro de Compostaje de Villa Alemana"....12

2. Problema....13

3. Objetivos....14

3.1 Objetivo General....14

3.2 Objetivos Específicos....14

4. Metodología....15

4.1 Realizar un levantamiento de las características técnicas del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana"....15

4.2 Realizar el dimensionamiento de un sistema para el tratamiento de aguas grises generadas en la operación del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana"....15

4.3 Evaluar económicamente el sistema de tratamiento propuesto....16

5. Resultados....19

5.1 Realizar un levantamiento de las características técnicas del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana"....19

5.1.1 Antecedentes generales del proyecto....19

5.1.2 Características respecto al consumo de agua y generación de aguas residuales asociadas a la etapa de operación proyecto 21
5.1.2.1 Sistema de provisión de agua potable 21
5.1.2.2 Sistema de alcantarillado 21
5.1.2.3 Distribución espacial de las instalaciones del proyecto. 23
5.2 Realizar el dimensionamiento de un sistema para el tratamiento de aguas grises generadas en la operación del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana” 24
5.2.1 Revisión bibliográfica de tecnologías utilizadas en tratamiento de aguas grises 24
5.2.1.1 Tratamientos físico-químicos 24
5.2.1.2 Tratamientos biológicos 26
5.2.1.3 Desinfección 30
5.2.2 Justificación de elección diseño de tratamiento 32
5.2.3 Diseño del sistema de tratamiento de las aguas grises 34
5.2.3.1 Filtro de malla 34
5.2.3.2 Estanque de almacenamiento 1 34
5.2.3.3 Humedal Vertical 35
5.2.3.4 Lámpara de Luz UV 45
5.2.3.5 Estanque de almacenamiento 2 45
5.2.3.6 Balances de masa y energía 46
5.2.4 Contraste entre el volumen de aguas tratadas y los requerimientos hídricos de los árboles 60
5.2.5 Disposición final de los residuos que se van a generar en el proceso 61
5.2.6 Sugerencias de Mantención 62
5.3 Evaluar económicamente el sistema de tratamiento propuesto 63
5.3.1 Cuantificación de los egresos 63
5.3.1.1 Costos de inversión 63
5.3.1.2 Costos de Operación 65
5.3.2 Cuantificación de los ingresos 67
5.3.3 Flujo de Caja y Análisis de la Rentabilidad 68

5.3.3.1 Flujo de Caja 68

5.3.3.2 Cálculo del VAN 69

6. Discusión 70

7. Conclusiones 73

8. Referencias Bibliográficas 74

ANEXOS 79

Índice de Tablas

Tabla 4.1: Ejemplo de tabla para los costos de los materiales. 16
Tabla 4.2: Ejemplo de Flujo de caja. 17
Tabla 5.1: Datos asociados al consumo de agua y a la generación de aguas residuales del proyecto. 23
Tabla 5.2: Tabla comparativa de las tecnologías físico-químicas. 26
Tabla 5.3:Tipos de humedales y sus características. (Fuente: Dotro et al., 2017) 27
Tabla 5.4:Eficiencia de remoción de contaminantes. (Fuente: Dotro et al., 2017) 28
Tabla 5.5: Tabla comparativa de las tecnologías biológicas. 29
Tabla 5.6: Tabla comparativa de las tecnologías para la desinfección. 32
Tabla 5.7: Parámetros típicos de aguas servidas de tipo diluida (Adaptado de Vidal y Hormazábal, 2018). ... 46
Tabla 5.8: Concentraciones de carga de contaminantes para el efluente del proceso. 47
Tabla 5.9: Cálculo de Evapotranspiración mensual sin corregir. 49
Tabla 5.10: Cálculo de la evapotranspiración mensual corregida. 50
Tabla 5.11: Cálculo del caudal del efluente en el humedal para cada mes. 50
Tabla 5.12: Cálculo de las pérdidas de carga por accesorios en la impulsión, bomba 1. 56
Tabla 5.13: Pérdida de carga de impulsión por accesorio, bomba 2. 59
Tabla 5.14: Mantenimiento de los equipos del sistema de tratamiento propuesto. 62
Tabla 5.15: Costos de equipos. 63
Tabla 5.16: Costo de los materiales de la infraestructura. 64
Tabla 5.17: Tarifas de electricidad para Villa Alemana (Chilquinta, 2024). 66
Tabla 5.18: Costo energético anual. 66
Tabla 5.19: Costos de elementos de protección personal. 67
Tabla 5.20: Flujo de caja, para los periodos entre 0 y 10 años. 68
Tabla 5.21: Continuación del flujo de caja, para los periodos entre 11 y 20 años. 69

Índice de Figuras

Figura 1.1: Proyección estrés hídrico mundial para el 2050. Fuente: WRI, 2023. 2
Figura 1.2: Distribución de demanda consuntiva por sector en Chile. Fuente: Mesa Nacional del Agua, 2020. 3
Figura 1.3: Proyecto piloto de una planta de tratamiento de aguas grises en Bharuch, India. Fuente: Deshgujarat, 2023. 6
Figura 1.4: Filtro con plantas de flujo vertical. Fuente: Morel & Diener, 2006. 7
Figura 1.5: Juan Altamirano junto a Rubén Lafferte, jefe de Área INDAP Limache. Fuente: El Observador, 2020. 8
Figura 1.6: Diseño de casa piloto del Proyecto GWR. Fuente: Proyecto GWR, 2024. 9
Figura 5.1: Ubicación geográfica del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”. Fuente: Ambiente social asesoría y consultora, 2021. 20
Figura 5.2: Diseño Fosa Séptica. Fuente: Geociclos, 2020. 21
Figura 5.3: Diseño dren de absorción. Fuente: Geociclos, 2020. 22
Figura 5.4: Diseño cámara desgrasadora. Fuente: Geociclos, 2020. 22
Figura 5.5: Diagrama de bloques del sistema de tratamiento. 34
Figura 5.6: Partes de un Humedal Vertical. (Adaptado de Tilley et al., 2018) 35
Figura 5.7: Parte del sistema de alcantarillado de aguas servidas del proyecto. 38
Figura 5.8: Dimensiones de la zona administrativa y área verde que la rodea. 38
Figura 5.9: Distribución del medio filtrante (Adaptado de Dotro et al., 2017). 40
Figura 5.10: Diseño sistema de distribución de entrada, vista desde arriba. 42
Figura 5.11: Diseño sistema de recolección y drenaje, vista desde arriba. 43
Figura 5.12: Diseño del sumidero de recolección, vista lateral (Adaptado de Dotro et al., 2017). 44
Figura 5.13: Schoenoplectus californicus. Fuente: Currículum Nacional, 2024. 45
Figura 5.14: Diagrama del sistema de bombeo desde el estanque de almacenamiento 1 hasta el humedal vertical. 51
Figura 5.15: Diagrama sistema de bombeo desde sumidero de recogida hasta el estanque de almacenamiento 2. 58

Índice de ecuaciones

Ecuación 4.1: Ingresos 17
Ecuación 4.2: Valor Actual Neto (VAN) 17
Ecuación 5.1: Área superficial 36
Ecuación 5.2: Tasa constante BOD 36
Ecuación 5.3: Área Superficial 37
Ecuación 5.4: Tiempo de retención hidráulico. 39
Ecuación 5.5: Volumen de capas. 41
Ecuación 5.6: Cálculo de plantas 44
Ecuación 5.7: Balance hídrico 48
Ecuación 5.8: Método Thornthwaite 48
Ecuación 5.9: Índice de calor anual 48
Ecuación 5.10: Constante a. 48
Ecuación 5.11: Coeficiente de Corrección (F) 49
Ecuación 5.12: Potencia mínima para la bomba 52
Ecuación 5.13: Ecuación de Bernoulli 52
Ecuación 5.14: Ecuación Hazen-Williams 52
Ecuación 5.15: Pérdidas por accesorios 53
Ecuación 5.16: Factor de corrección de Christiansen 53
Ecuación 5.17: Potencia requerida 53

1. Introducción

1.1 El Agua

El agua es un elemento esencial para el desarrollo y la supervivencia de todos los seres vivos en nuestro planeta. Esta cubre aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra, pero solo el 2,5% corresponde a agua fresca (ríos, lagos, acuíferos) y únicamente el 0,62% está disponible para el consumo humano, agrícola e industrial (Escenarios Hídricos 2030, 2018). El agua es importante en muchos aspectos de la vida, entre sus usos naturales se encuentran el mantenimiento de los ecosistemas y el transporte de sedimentos. Por otra parte, entre los usos antrópicos se encuentra el aprovisionamiento doméstico, la recreación, la agricultura, la ganadería, la minería, la industria, entre otros (Fernández, 2012). Sin embargo, a pesar de su abundancia en el planeta y que es un recurso renovable, el agua es un recurso finito y su disponibilidad para el uso inmediato está disminuyendo.

1.1.1 Escasez hídrica en el mundo y en Chile

La escasez de agua se ha convertido en un problema grave que afecta a todos los países y ecosistemas del mundo. Se estima que cerca de tres mil millones de personas sufren de escasez hídrica y esta situación podría agravarse en las próximas décadas, especialmente en las ciudades donde existe un aumento de la demanda de agua potable (UNESCO, 2023). La creciente incidencia de las sequías extremas y prolongadas están estresando los ecosistemas, generando la disminución del volumen de agua acumulada en los embalses, disminuyendo el rendimiento agrícola, afectando la biodiversidad biológica y extendiendo hambrunas. En algunos países la sequía ha afectado de manera significativa: en Cuerno de África cerca de 23 millones de personas viven en situación de inseguridad alimentaria; en la cuenca del río Plata de Brasil y Argentina con la sequía del 2022 se ha reducido el rendimiento agrícola y se afectó el mercado mundial de los cultivos; en Sudáfrica el 33% de las tierras de pastoreo se han perdido; en el río Misisipi cerca 2.000 atascos de barcazas debido a los niveles bajos del agua causando 20.000 millones de dólares de pérdidas por interrupción de la cadena de suministro, entre otras consecuencias (United Nations Convention to Combat Desertification, 2023).

Datos actuales del Aqueduct Water Risk Atlas de World Resources Institute (WRI), muestra que 25 países, los cuales albergan una cuarta parte de la población mundial, enfrentan cada año un estrés hídrico extremadamente alto que consume casi todo el suministro de agua disponible. Un país que está categorizado como “estrés hídrico extremadamente alto” significa que está utilizando al menos el 80% de su suministro de agua renovable para el riego, ganadería, la industria y el uso doméstico. Se estima que la situación mundial va a empeorar para el año 2050, donde se espera que mil millones de personas adicionales vivan un estrés hídrico extremadamente alto (WRI,2023). Entre las causas atribuibles a la disminución en la disponibilidad del agua se encuentran los efectos que provoca el aumento de las

temperaturas en las regiones que presentan escasez hídrica junto a los cambios en los patrones de las lluvias (WRI, 2015).

Las proyecciones para Chile, al año 2050, lo posicionan dentro del ranking de los países que tendrán una escasez hídrica extremadamente alta. En la Figura 1.1 se muestra un mapa con las proyecciones de estrés hídrico para el año 2050 de la mayoría de los países, incluyendo a Chile.

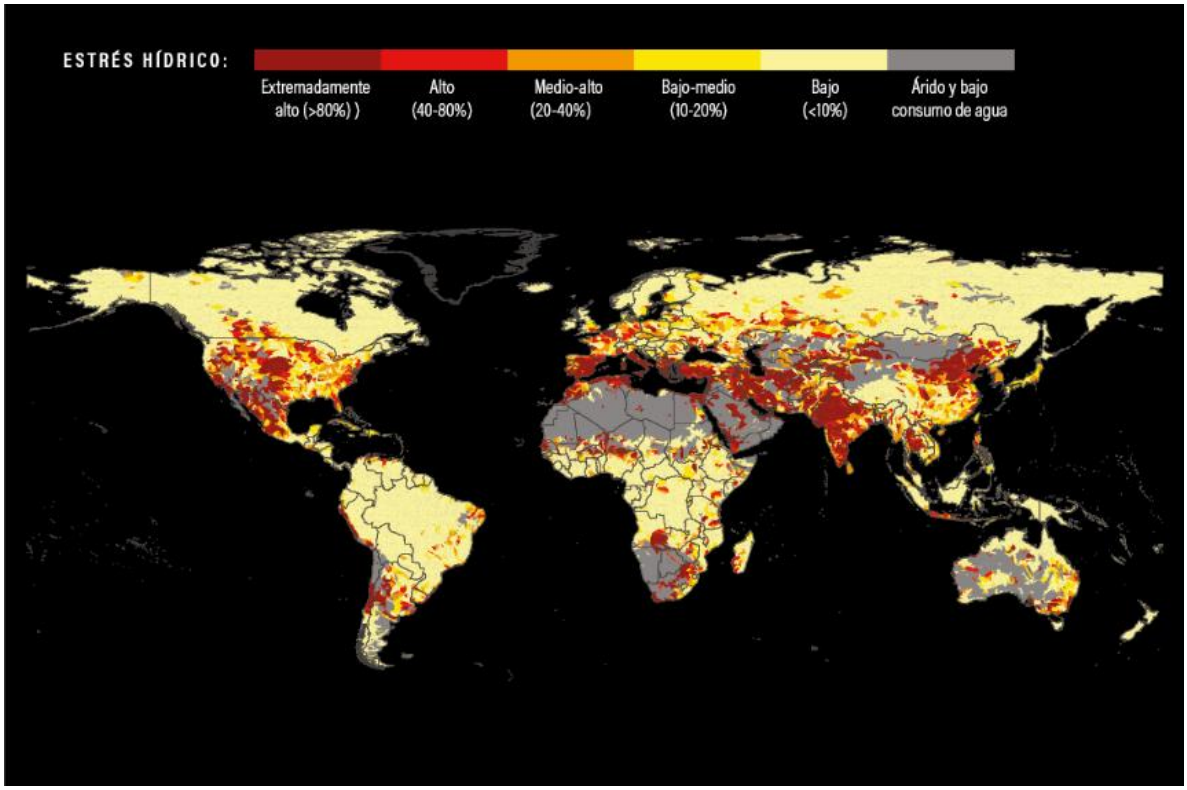


Figura 1.1: Proyección estrés hídrico mundial para el 2050. Fuente: WRI, 2023.

1.1.2 Demanda de agua potable en Chile

El consumo promedio por hogar del agua potable ha ido disminuyendo en las últimas décadas, y algunos de los factores que generan esto son la conducta responsable de las personas en el uso del recurso hídrico, el uso de artefactos sanitarios con eficiencia hídrica y el aumento de personas que viven en departamentos. El consumo promedio actual es de 14 m^3/mes, equivalente a un consumo de 467 litros por hogar, considerando a 4 personas (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios, 2022).

Por otra parte, respecto a la distribución de la demanda consuntiva del agua en Chile, la agricultura utiliza un 72% del agua, siendo esta actividad la que más consume este recurso. El agua potable urbana consume el 12%, abasteciendo a un valor cercano a 15 millones de personas. En menor medida, la

industria utiliza el 7%, la minería el 4% y el sector pecuario y la generación de energía eléctrica un 5% (Mesa Nacional del Agua, 2020). Los datos anteriormente mencionados se muestran en la Figura 1.2.

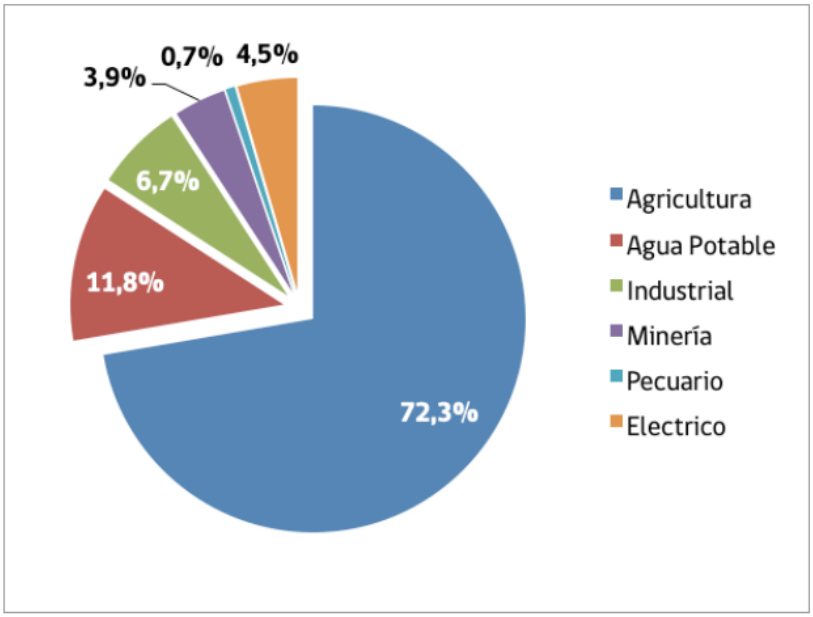


Figura 1.2: Distribución de demanda consuntiva por sector en Chile. Fuente: Mesa Nacional del Agua, 2020.

1.2 Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas que se liberan después de haber sido utilizadas en algún proceso, careciendo de utilidad inmediata para dicha actividad. Este término engloba una variedad de descargas desde las industriales hasta las domiciliarias. Las aguas servidas domiciliarias, son las aguas residuales provenientes de una edificación y que incluye tanto las aguas negras como las aguas grises. Por una parte, las aguas negras son aquellas que contienen excretas humanas. Esta distinción se hace necesaria para su tratamiento, ya que su contenido puede presentar riesgos para la salud y el medio ambiente. Por otro lado, las aguas grises son aquellas aguas residuales domésticas que provienen de actividades como lavado de ropa, del baño, la ducha, lavaderos, excluyendo aquellas que vienen de los inodoros que contienen excretas (Ley 21.075,2018). La composición de las aguas grises corresponde principalmente a jabones, detergentes, grasas, residuos orgánicos y partículas suspendidas que, con un tratamiento adecuado, pueden ser reutilizadas para diferentes destinos como el urbano, recreativo, ornamental, industrial, ambiental o silvoagropecuario.

Algunas de las razones y/o beneficios de tratar y reutilizar las aguas grises son:

1. Reducir la demanda de agua potable: Tratar las aguas grises y reutilizar este recurso para diferentes usos como es el riego de jardines y áreas verdes, limpieza de suelos, algunos

procesos industriales o incluso para recargar los inodoros, permite que se reduzca la demanda de agua potable. De este modo, el agua de mejor calidad se reserva para usos esenciales como es la hidratación y las aguas grises tratadas pueden suplir otras demandas (Ahumada y Rojas, 2017).

2. Reduce la contaminación: Las aguas grises pueden contener diferentes sustancias contaminantes como son los aceites, detergentes o jabones. Algunos detergentes pueden provocar la eutrofización de los cuerpos de agua, este proceso consiste en un enriquecimiento excesivo de nutrientes con un consecuente crecimiento de la vegetación acuática, disminuyendo el oxígeno, pudiendo afectar el desarrollo de la vida acuática (Dirección General de Aguas, 2007). Por lo tanto, tratar las aguas grises permite que estos contaminantes no puedan ser liberados al medio ambiente a través de las aguas, reduciendo la contaminación de los ríos, lagos y acuíferos. Cabe destacar que las aguas grises poseen niveles bajos de nutrientes y patógenos, los cuales pueden ser tratadas utilizando tecnologías simples como filtros, humedales, sistemas batch y reactores de membrana (Ahumada y Rojas, 2017).
3. Costos: Algunas veces obtener el agua potable puede ser muy costoso debido a la escasez del recurso, como en el norte de Chile, donde una de las soluciones a este problema es la desalación del agua del mar (Ahumada y Rojas, 2017). Por otra parte, se generan menores costos en las plantas de tratamiento de aguas residuales al generar menores caudales, también se genera menor presión sobre la necesidad de nuevas plantas de tratamiento de estas aguas.

Respecto a la disponibilidad de agua, si se toma como referencia un uso de 150 litros por habitante por día de agua potable, aproximadamente el 80% corresponde a descarga de aguas servidas. En promedio se estima que el 30% de las aguas servidas son aguas negras y el resto aguas grises, por lo tanto, se puede considerar que se generan 80 litros por habitante por día de aguas grises. Es decir, en una casa de 4 integrantes, se dispone de 320 litros por día de aguas grises aproximadamente (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023)

1.2.1 Experiencias en el tratamiento y reutilización de aguas grises en el mundo y Chile

1.2.1.1 Experiencia de reutilización de aguas grises en el mundo

En otros países del mundo se han avanzado en diferentes regulaciones que permiten el tratamiento de las aguas grises y su posterior reutilización, según el uso que se le desea dar. Algunos ejemplos son:

- Unión Europea: Reglamento de la Unión Europea (UE) 2020/741 establece requisitos mínimos para la reutilización del agua, permite un uso extensivo de aguas regeneradas, haciéndolas aptas para todo tipo de riego y cultivo.
- Australia: “Directrices Australianas para el Reciclaje de Agua: Manejo de Salud y Riesgos Ambientales”, que recomienda un programa de subsidios para la instalación de sistemas de aguas grises.

- Estados Unidos de América: No existe regulación nacional de aguas grises, dejando la regulación a cada estado, siendo estas muy distintas entre sí. Además, permite el uso de aguas grises sin tratamiento para el riego de jardines públicos y campos de golf.
- Israel: La Norma 5281 de Edificios verdes es de carácter facultativo y se espera que en el futuro las construcciones estén obligadas al reciclaje de aguas grises, sin tener que reducir la disponibilidad del agua para el uso agrícola.
- España: Real Decreto 1620/2007 establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. A nivel municipal, se han aprobado regulaciones para promover el reúso de aguas grises en edificios.

Por otro lado, en todo el mundo se han llevado a cabo diversos proyectos para tratar y reutilizar las aguas grises. Un ejemplo de estos es el proyecto piloto implementado en 2022 en Bharuch, estado de Gujarat, India. En esta iniciativa se creó una planta de tratamiento de aguas grises con el objetivo de depurar y reutilizar las aguas residuales de las zonas rurales del estado, específicamente del pueblo Shuklatirth (Deshgujarat, 2023). Esta planta cuenta con una capacidad para tratar 700 m^3 de aguas grises por día, requiere de un bajo costo de mantención, no genera lodos, ocupa un espacio mínimo, su mantenimiento es diario pero sencillo y no genera olores.

Esta planta de tratamiento recibe las aguas grises de todas las casas del pueblo y se llevan por gravedad a un pozo húmedo. Posteriormente pasa por una criba para eliminar residuos mayores a 3 milímetros. Luego, las aguas se bombean al sedimentador para poder separar otros sólidos. Después, el agua se pulveriza por tuberías paralelas, las cuales se encuentran sobre capas de medios de diferentes tamaños y catalizadores de cultivo. En la Figura 1.3 se muestra la planta de tratamiento descrita. Finalmente, estas aguas se utilizan para el riego de los árboles y plantas a lo largo del río Narmanda.

Inicialmente las personas de este pueblo estaban lidiando con problemas de una inadecuada gestión de las aguas residuales, donde estas se vertían directamente al río, generando contaminación, malos olores y enfermedades. Por lo tanto, la implementación de esta planta de tratamiento permitió que las personas estén libres de enfermedades transmitidas por las aguas del lugar.



Figura 1.3: Proyecto piloto de una planta de tratamiento de aguas grises en Bharuch, India. Fuente: Deshgujarat, 2023.

Otro ejemplo de proyecto de aguas grises fue implementado en el año 1998 en Kathmandu, Nepal. El Sr. Shrestha implementó un sistema de tratamiento de aguas grises en su hogar para demostrar que una tecnología simple es viable para tratar estas aguas (Morel & Diener, 2006).

El sistema consiste en un humedal artificial para un hogar de 7 personas, donde se tratan las aguas grises provenientes del baño, de la lavandería y de la cocina. Estas aguas se recolectan en un sedimentador de dos cámaras de 500 litros. Posteriormente, el agua es descargada en un filtro con plantas de flujo vertical 3-4 veces por día, esto mediante un tanque dosificador de 200 litros. El medio filtrante se compone de tres capas de gravas y arenas, y tiene plantado *Phragmites karka* y *Canna Latifoli*. En la figura 1.4 se muestra el sistema de filtro vertical con las plantas mencionadas. Luego, las aguas grises se almacenan en un tanque de 700 litros y el agua tratada es utilizada para el riego, lavado de vehículo y para la descarga de los inodoros.

El sistema procesa aproximadamente 500 litros diarios de aguas grises con una eficiencia del 90% en la remoción de amoníaco y una eliminación del nitrógeno del 60-70%. Respecto al mantenimiento, durante dos años de monitoreo se retiró anualmente los lodos del sedimentador, se podaron las plantas anualmente y no se limpió ni el tanque de almacenamiento ni la superficie del lecho filtrante. Por otro lado, los costos para construir el sistema fueron de 430 USD (61 USD por persona), los costos por mantención fueron insignificantes y se estima que el ahorro por los 500 litros diarios de agua potable, redujo el gasto en 40 USD anualmente.



Figura 1.4: Filtro con plantas de flujo vertical. Fuente: Morel & Diener, 2006.

1.2.1.2 Experiencia de reutilización de aguas grises en Chile

En el área de la agricultura se han desarrollado diversos proyectos de reutilización de aguas grises, en su mayoría patrocinados por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Estos tienen como objetivo mantener la producción agrícola en áreas gravemente afectadas por la escasez de agua, donde las fuentes convencionales de agua no son suficientes. Los proyectos logran reducir el consumo de agua potable entre un 30 y 40 % mediante el uso de aguas grises tratadas, permitiendo que los pequeños agricultores no pierdan su producción. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023). La Comisión Nacional de Riego expuso algunos casos relevantes durante la discusión sobre la modificación de la Ley N°21.075, en la cual busca fomentar esta práctica. Estos proyectos son:

1. Proyectos de reutilización de aguas grises en las comunas de Nogales y La Calera, región de Valparaíso. Estos corresponden a 7 proyectos que utilizan recursos del Programa de Obras Menores de Riego (PROM), aporte de la empresa Anglo American y de los propios agricultores. Un ejemplo de estos es el que benefició a la agricultora Carmen Mansilla de la comuna de Nogales. Esta persona tiene 70 nogales, cuya producción fue afectada por la sequía y tenía que regar con Agua Potable Rural (APR) y con camiones aljibe que ella misma compraba. La implementación del proyecto (2021) contempló la reutilización de las aguas provenientes de las duchas, lavamanos y lavadora de su hogar. Su sistema cuenta con un equipo de filtración

modular, un sistema de desinfección utilizando hipoclorito de calcio al 65%, estanques de almacenamiento para el agua tratada con una capacidad de 1.000 litros, filtros de carbón activado para eliminar olores, colores y cloro del agua, y una estación de bombeo de agua conectada a las llaves destinadas exclusivamente para el riego.

2. Proyecto de reutilización de aguas grises en la comuna de Olmué, región de Valparaíso.
   Juan Altamirano, agricultor de Olmué, mantenía un miedo constante de que sus cultivos se secaran por falta de agua, es por esta razón que creó un proyecto piloto para mejorar su sistema de riego de frutales y aumentar la disponibilidad del recurso hídrico mediante el aprovechamiento del agua generadas en su hogar. Antes del proyecto, se abastecía con pozos y con camiones aljibes municipales y posteriormente a la implementación del proyecto (2020), reutiliza las aguas provenientes de las duchas, lavamanos y lavadora de su hogar, calculando un volumen de 3 mil litros por semana. El sistema empleado posee filtros, tiene desinfección por ozono y almacena el agua en un estanque, lo que permite regar por goteo 72 árboles de limones y paltos. Se beneficiaron 0,6 hectáreas de terreno y se tuvo una inversión total de 4.304.000 CLP, con el aporte de INDAP de 3.874.056 CLP. En la Figura 1.5, se presenta a Juan Altamirano, el agricultor beneficiado, y a Rubén Lafferte, jefe de área INDAP Limache. En la imagen se observa una parte del sistema de tratamiento de aguas grises, que incluye el filtro, dos manómetros, una válvula y las tuberías.



Figura 1.5: Juan Altamirano junto a Rubén Lafferte, jefe de Área INDAP Limache. Fuente: El Observador, 2020.

Actualmente existe un proyecto denominado Proyecto GWR (Greywater Treatment and Reuse), que es desarrollado por científicos de la Universidad de Santiago de Chile (Usach), Universidad del Bío-Bío y la Universidad Andrés Bello. Este proyecto tiene como objetivo disminuir el uso de agua potable domiciliaria reutilizando las aguas grises de los grifos, duchas y lavadoras para regar techos y muros

verdes, lo que, a su vez, genera un aislamiento térmico y acústico en las viviendas. Esto se lleva a cabo mediante tecnología de membrana, que remueve la mayoría de los contaminantes presentes en estas aguas, y con el uso de electroquímica. En la figura 1.6 se muestra el diseño de la casa piloto (denominada Casa Tecno), la cual llevará incorporada las tecnologías mencionadas.



Figura 1.6: Diseño de casa piloto del Proyecto GWR. Fuente: Proyecto GWR, 2024.

Por otra parte, en el país existen varias empresas que se dedican al tratamiento de aguas residuales, y actualmente incluyen el tratamiento de aguas grises. Por ejemplo, la empresa Acuasud asesora proyectos de plantas de tratamiento de aguas grises, ya sean de tipo pequeños como residenciales, de tamaño medianos y para grandes empresas. También, la empresa Aguas Chile Tecnologías ofrece soluciones para el tratamiento de aguas utilizando sistemas tradicionales o equipos avanzados que emplean energías renovables y limpias.

Normativas Chilenas

En materia normativa, algunas de las regulaciones que existen para el aprovechamiento de aguas grises en Chile, corresponden a:

1. **Norma Chilena 1.333 (1978): Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.**
   Esta norma fija criterios de calidad del agua de acuerdo con requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado. El objetivo de esta es proteger y preservar la calidad del agua destinada a diferentes propósitos, de la degradación producida por la contaminación de residuos de cualquier tipo u origen. Respecto a su alcance, esta es aplicable a las aguas destinadas a consumo humano, para bebida de animales, riego, recreación y estética (con o sin contacto directo), y vida acuática.

2. **Ley 21.075 (2018): Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises.**
   Esta ley establece y regula los sistemas de reutilización de las aguas grises, aplicables a áreas urbanas y rurales, con el propósito de ahorrar y reutilizar este vital elemento. Estas aguas pueden utilizarse para fines de interés público, como es el riego de áreas verdes, parques o centros deportivos públicos. Además, se establecen los destinos que se les darán a las aguas grises, los cuales pueden ser urbanos, recreativos, ornamentales, industriales, ambientales o silvoagropecuarios y, por otro lado, se indican los campos en los que no se podrán utilizar. La autoridad sanitaria y la Superintendencia de Servicios Sanitarios son responsables de fiscalizar y asegurar el cumplimiento de esta ley.

3. **Decreto 40 (2022): Aprueba el reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises.**
   Este decreto es un complemento al artículo 3° de la ley 21.075. Establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir los sistemas de reutilización de aguas grises, así como los requisitos o antecedentes que se deberán incluir a las solicitudes de aprobación del proyecto y autorización de funcionamiento, referidos al diseño, construcción y operación de los sistemas, ya sea que estos se ubiquen dentro o fuera del territorio operacional de las concesionarias de servicios sanitarios. El decreto proporciona directrices para el diseño y operación del sistema de tratamiento, se definen los parámetros de calidad que deben tener las aguas grises según el uso que se les dará, y se determinan las condiciones para el monitoreo y control de las aguas y del sistema de tratamiento.

1.3 Caracterización de la comuna de Villa Alemana

1.3.1 Descripción de la comuna de Villa Alemana

La comuna de Villa Alemana se encuentra ubicada en la zona central de Chile, en la provincia de Marga Marga, región de Valparaíso. Fue fundada el 8 de noviembre de 1894 con el nombre de Viña Miraflores, en honor a inmigrantes alemanes que llegaron a Chile buscando mejores oportunidades y fueron los primeros en adquirir los predios loteados por Buenaventura Joglar. La ciudad se caracteriza por ser residencial y de servicios, sin grandes industrias.

Según los datos de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), esta comuna tiene una población de 95.623 habitantes (49.755 mujeres y 45.868 hombres), una extensión territorial de casi 97 km^2 y una densidad de población aproximada de 1.000 hab por km^2, siendo esta una de las más altas del país después del Gran Santiago y Viña del Mar. Por otra parte, acoge el 6,21% de la población total de la región, teniendo un 0,86% de población rural y un 99,14% de población urbana.

De acuerdo con la actualización del Plan Regulador Comunal (PRC) de Villa Alemana del año 2021, los servicios de agua potable y alcantarillado de la comuna, están gestionados por la empresa Esval S.A. y por el DS N°354/95 del Ministerio de Obras Públicas (MOP), teniendo un área de concesión en su totalidad dentro del límite urbano. La cobertura de agua potable alcanzó el 99,7% en 2021 y se proyecta que llegará al 99,9% para 2034. En cuanto a las aguas servidas la cobertura fue de 97,7% en 2021, teniendo una proyección de 97,8% para 2027. Respecto al abastecimiento de agua potable de Villa Alemana, esta es aportada desde el Sistema Productivo de Agua Potable (SPAP) Las Vegas, utilizando el acueducto del mismo nombre. Por otro lado, Esval firmó un convenio para utilizar el Embalse Los Aromos, para así tener una reserva constante de agua potable y mantener un balance entre la oferta y la demanda del Gran Valparaíso. Por otra parte, la red de recolección de aguas servidas denominada Colector Intercomunal, recoge las aguas de Villa Alemana y Quilpué, juntándose con las de Concón, Viña del Mar y Valparaíso, para finalmente descargarlas en el mar a través del emisario Loma Larga. Para el sector rural, el comité de APR Quebrada Escobares, Lo Hidalgo y El Patagual, proporciona agua potable a 194 viviendas, con una población estimada de 776 habitantes. Este sistema recibe agua de Esval S.A. y se está gestionando la posibilidad de aumentar el caudal para satisfacer las demandas futuras del recurso.

1.3.2 Ilustre Municipalidad de Villa Alemana

El cuidado del medio ambiente es un tema central para el desarrollo sostenible de las comunidades y, en este contexto, las municipalidades cumplen un rol fundamental en la implementación de políticas y programas que promuevan la protección del medio ambiente y el uso responsable de los recursos naturales.

La Dirección Ambiental Municipal (DAM) de la Ilustre Municipalidad de Villa Alemana tiene como objetivo fomentar cambios culturales en las personas de la comuna, en temas de conciencia ambiental, además de ser un polo de innovación local en la gestión socioambiental. Esto se logrará mediante profesionales que implementen acciones educativas transversales e iniciativas en que participe la comunidad en áreas como la gestión de los residuos, energías renovables y protección de la

biodiversidad. Por otra parte, se llevan a cabo diversos proyectos ambientales, licitaciones y propuestas, los cuales deben ser evaluados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Entre las funciones de la Dirección Ambiental Municipal, mencionadas en la página web de la municipalidad, se encuentran:

- Cambio climático y economía circular.
- Evaluación de indicadores ambientales.
- Gestión de residuos reciclables.
- Promoción de educación ambiental y participación ciudadana.
- Gestión de bateas y barrido de calles.
- Cuidado y valorización de la biodiversidad.
- Programas de arborización y cuidado del arbolado urbano.
- Control de plagas y sanitización.
- Valorización del patrimonio ambiental.
- Postulación a fondos y proyectos ambientales.
- Cumplimiento del sistema de certificación ambiental municipal.
- Fiscalización ambiental

1.3.3 Proyecto “Centro de Compostaje de Villa Alemana”

La Ilustre Municipalidad de Villa Alemana impulsó el proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”, el cual fue evaluado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y actualmente se encuentra con su Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada. Este proyecto tiene como objetivo construir y operar un centro de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos de origen vegetal domiciliario, de mercados públicos, ferias libres y verdulerías de la comuna. Se espera que con este proyecto se reduzca el impacto ambiental asociado a la gestión de los residuos orgánicos de la comuna, que representa el 50% de los residuos sólidos generados en Villa Alemana.

La implementación de este proyecto busca ofrecer una alternativa amigable con el medio ambiente y con la comunidad al recibir y manejar de una manera sustentable los residuos orgánicos, transformándolos en compost que se puede utilizar como abono y mejorador de los suelos.

Sin embargo, el terreno donde se va a emplazar este proyecto no tiene la factibilidad de instalar un sistema de alcantarillado y tampoco tiene un sistema de suministro de agua potable, por lo tanto, las aguas servidas que se generarán una vez que se encuentre operativo el centro de compostaje, se llevarán hacia una fosa séptica donde posteriormente una empresa externa retirará los residuos de manera periódica. Por otra parte, se utilizará agua industrial, la cual será suministrada con camiones aljibes de la municipalidad, para poder regar las áreas verdes que están contempladas en el diseño del centro de compostaje. Considerando lo anterior, se hace necesario gestionar de mejor manera el recurso hídrico del lugar, tomando en cuenta que en las próximas décadas habrá una disminución considerable en la disponibilidad de agua dulce en el país.

2. Problema

En el contexto del proyecto “Centro de compostaje Villa Alemana”, presentado por la Ilustre Municipalidad de Villa Alemana, se detecta que el terreno donde se instalará el proyecto no cuenta con la factibilidad de instalar un sistema de alcantarillado ni suministro de agua potable, por lo que deberá ser abastecido por camiones aljibes. Considerando estas condiciones, surge la necesidad de gestionar de manera efectiva las aguas residuales que se van a generar en las oficinas cuando se encuentre operativo el centro de compostaje.

El manejo adecuado de los recursos hídricos se vuelve fundamental para garantizar la sustentabilidad ambiental. Y en este sentido, la I. Municipalidad de Villa Alemana tiene la oportunidad de demostrar su compromiso con el cuidado del medio ambiente mediante prácticas que garanticen la conservación de los recursos naturales.

Por lo tanto, se propone la implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises que permitirá recuperar y depurar parte de las aguas residuales que se generarán en las oficinas, para posteriormente utilizar las aguas tratadas en otras actividades del proyecto como es el riego de la zona arborizada, lo que contribuirá a reducir la utilización de agua industrial para este propósito.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Proponer un sistema para la recuperación y depuración de las aguas grises que se generarán como parte de las actividades desarrolladas posterior a la implementación del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de las características técnicas del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”.
- Realizar el dimensionamiento de un sistema para el tratamiento de aguas grises generadas en la operación del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”.
- Evaluar económicamente el sistema de tratamiento propuesto.

4. Metodología

4.1 Realizar un levantamiento de las características técnicas del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana"

Se hizo una lectura general de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana", revisando cada uno de los documentos que se encontraron presentes en la plataforma del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Luego se realizó una síntesis de la información encontrada en el proyecto clasificándose en dos tipos: el primero correspondió a todos los antecedentes generales del proyecto que permitieron describir sus características, tales como, el tipo de proyecto, su localización, los montos de inversión, entre otros. Esto con la finalidad de proporcionar una visión general del proyecto, ayudando a comprender los objetivos y alcances del proyecto de centro de compostaje. El segundo tipo correspondió a las características respecto al consumo de agua y generación de aguas residuales asociadas a la etapa de operación del proyecto. En estas se encontró datos como los volúmenes de agua potable que se iban a consumir durante esta etapa, las aguas residuales que se iban a generar por la utilización de las oficinas del centro de compostaje, las dimensiones de los equipos del sistema de tratamiento de agua residual que ya se tenían estipulados, los diferentes planos de distribución de los equipos y del alcantarillado, las cantidades de personas que utilizarían los artefactos sanitarios que generarían aguas grises, el número de artefactos sanitarios que se tenían contemplado instalar y que generarían aguas grises, la información sobre la faja arborizada, entre otros datos que pudieran servir para dimensionar el sistema de tratamiento propuesto.

4.2 Realizar el dimensionamiento de un sistema para el tratamiento de aguas grises generadas en la operación del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana"

Se revisaron distintas fuentes de información técnica que abordan el saneamiento de aguas grises, tomando en cuenta la revisión de libros de tratamiento de aguas residuales, tesis de pregrado y postgrado, informes técnicos, manuales, artículos e información de internet.

Se realizó un levantamiento de las diferentes tecnologías que se usan en los sistemas de tratamiento de aguas grises y se hicieron tablas comparativas con la finalidad de visualizar las características de cada una de ellas. Para seleccionar la mejor alternativa, se hizo un análisis comparativo entre ellas considerando aspectos operativos, condiciones de mantenimiento, eficiencias del tratamiento y requerimientos espaciales.

Posteriormente, se diseñó el sistema de tratamiento calculando el tamaño de los equipos según el flujo de agua gris a tratar, se realizaron balances de masa y energía con datos bibliográficos, se realizaron diagramas de flujos y se estableció la distribución espacial de los diferentes equipos.

Después, se contrastó el volumen de agua tratada reutilizable potencialmente disponible para el riego y los requerimientos hídricos de los árboles declarados en el proyecto. Además, se determinó el ahorro de agua potable que se generará una vez que se encuentre operativo el sistema de tratamiento de las aguas grises.

Finalmente, se definió la disposición final de los residuos que se van a generar durante el proceso de tratamiento y se hicieron sugerencias respecto a la mantención de los equipos, determinando las actividades a realizar y la frecuencia en que estas deban aplicarse.

4.3 Evaluar económicamente el sistema de tratamiento propuesto

Se determinaron los costos del sistema de tratamiento propuesto, distinguiendo los costos por operación y los costos por inversión. Los costos por operación fueron aquellos necesarios para mantener la operación diaria del sistema, incluyendo los costos fijos y los costos variables. Estos costos podrían incluir, por ejemplo, costos de salarios del personal a cargo del mantenimiento del sistema, costos para reparar o sustituir piezas de los equipos, costos por utilizar energía eléctrica, entre otros. Por otra parte, los costos por inversión fueron aquellos relacionados con la adquisición de activos fijos como son las maquinarias, equipos o infraestructura.

En cuanto a los materiales a utilizar se realizó una lista completa de los artículos necesarios para instalar el sistema de tratamiento, utilizando la Tabla 4.1 como referencia, detallando para cada uno las unidades, el costo por unidad, el costo por envío y el costo total.

Tabla 4.1: Ejemplo de tabla para los costos de los materiales.

ÍTEM	**Resultado estimado**	**Cantidad**	**Valor unitario [$]**	**Valor por envío [$]**	**Total [$]**
Material 1					
Material 2					
Material …X					
Costo total					**$**

Respecto a los ingresos de esta propuesta, estos se van a generar a partir del ahorro de agua industrial. Para calcular el valor monetario del ahorro, se utilizó el precio que se paga por metro cúbico de agua de un camión aljibe y la cantidad de agua industrial ahorrada, de acuerdo con la ecuación 4.1.

$$I = V_{aap} * P$$ Ecuación 4.1: Ingresos

Donde:

I son los ingresos por ahorro de agua industrial [$]

V_{aap} es el volumen de agua industrial ahorrada [m^3]

P es el precio por metro cúbico de agua industrial [$\$/m^3$]

Luego, se estableció el flujo de caja considerando los ingresos y egresos identificados anteriormente, utilizando la Tabla 4.2. Por otra parte, se consideró un periodo de 20 años, siendo este valor el periodo de operación estipulado en el proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana".

Tabla 4.2: Ejemplo de Flujo de caja.

ITEM	**Periodos (Años)**					
	0	**1**	**2**	**3**	**…**	**20**
Beneficios						
Costos de operación						
Costos de inversión						
Flujo Neto						

Finalmente se calculó del Valor Actual Neto (VAN) de tipo social, el cual corresponde a un indicador de rentabilidad y, con este, se evaluó si la propuesta de tratamiento es factible económicamente. Para ello, se utilizó la ecuación 4.2.

$$VAN = \sum \frac{FN}{(1+r)^t} - I_o$$ Ecuación 4.2: Valor Actual Neto (VAN)

Donde:

FN son los flujos netos por período

r es la tasa de interés

t es el período

I_o es la inversión inicial

Si VAN > 0 se obtendrán beneficios mayores a la inversión.

Si VAN = 0 los beneficios serán iguales a la inversión.
Si VAN < 0 los beneficios son menores que la inversión.

5. Resultados

5.1 Realizar un levantamiento de las características técnicas del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”

5.1.1 Antecedentes generales del proyecto

Los antecedentes generales identificados en la DIA son:

Proyecto: Centro de Compostaje Villa Alemana.
Región: Región de Valparaíso.
Comuna: Villa Alemana.
Tipo de proyecto: o.5) Plantas de tratamiento y/o disposición de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios y estaciones de transferencia y centros de acopio y clasificación que atiendan a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.
Monto de inversión: 1.590.000 USD.
Estado Actual del proyecto: Aprobado con Resolución de Calificación Ambiental (RCA), 22- Sep-2021.
Etapas del proyecto: 6 meses de construcción, 19 años de operación y 6 meses de cierre.
Emplazamiento del proyecto: El proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana” se ubica aledaño a las obras de cierre del ex vertedero de Villa Alemana. En la figura 5.1 se muestra la ubicación del proyecto. En el terreno a utilizar, actualmente se ubica una planta artesanal de compostaje y lombricultura operada por el municipio de Villa Alemana. El proyecto contempla un área total de 3,56 hectáreas considerando la instalación de planta, zona de acopio de neumáticos y zona de producción de biomasa.

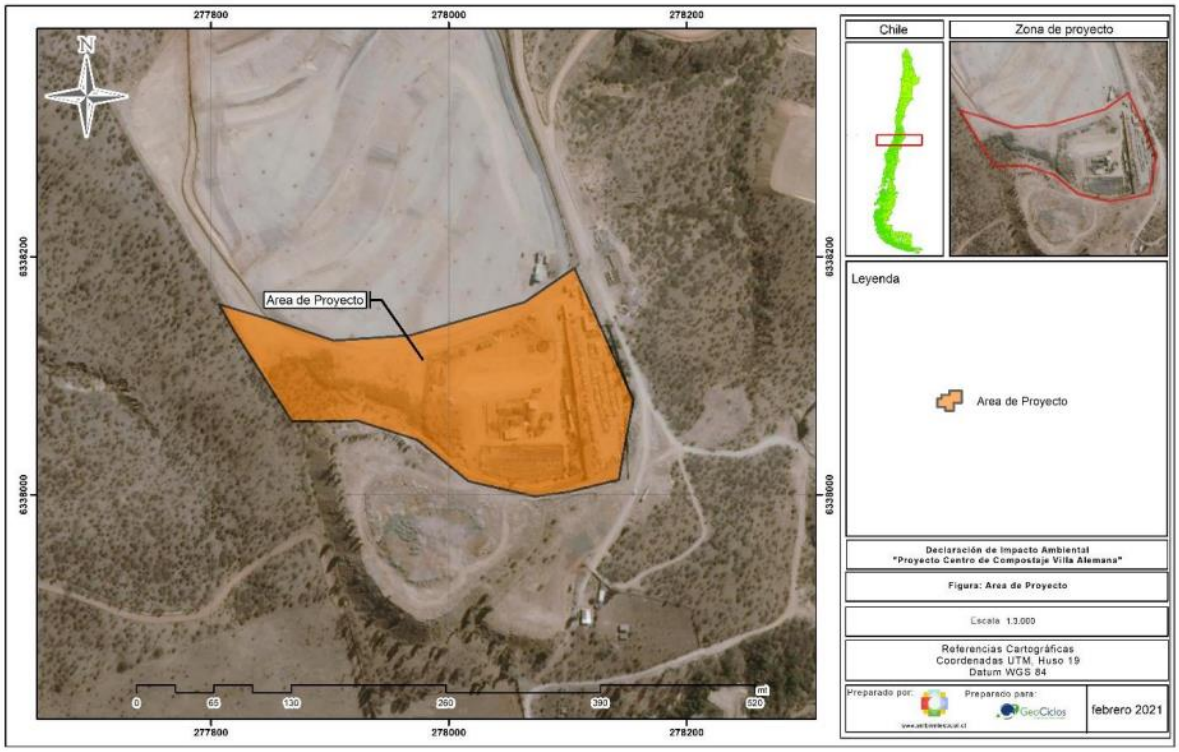


Figura 5.1: Ubicación geográfica del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”. Fuente: Ambiente social asesoría y consultora, 2021.

Descripción del proyecto:

El proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”, presentado por la ilustre Municipalidad de Villa Alemana, contempla la inversión para la construcción, implementación y operación de un sistema de compostaje para procesar residuos municipales orgánicos de origen vegetal, separados en origen (domicilios, mercado de Villa Alemana, ferias libres y verdulerías). La tecnología utilizada en la planta de compostaje consiste en pilas dinámicas de compostaje con volteo mecánico, tecnología altamente utilizada y de manejo relativamente simple.

Con este proyecto se espera reducir el impacto ambiental asociado a la actual gestión de residuos orgánicos de la comuna, que representan un 50% de los RSD generados en Villa Alemana y que actualmente son dispuestos en el relleno sanitario San Pedro, comuna de Quillota.

Actualmente, en el terreno donde se realizará el proyecto, se lleva a cabo un Programa Piloto de Compostaje y Lombricultura, del cual se benefician 300 viviendas de la comuna. Este programa utiliza aproximadamente el 40% del terreno total disponible, para desarrollar sus actividades, por lo que este proyecto busca potenciar la totalidad del terreno y así aumentar la capacidad de tratamiento de residuos orgánicos vegetales, además de poder generar compost que podría ser utilizado como abono y mejorador del suelo.

5.1.2 Características respecto al consumo de agua y generación de aguas residuales asociadas a la etapa de operación proyecto

5.1.2.1 Sistema de provisión de agua potable

Se estima que el consumo de agua potable en la fase de operación del proyecto será de 150 [litros/persona/día] para los trabajadores y de 25 [litros/persona/día] para los visitantes.

El agua será proporcionada desde un estanque de acumulación de 4 [m³], el cual será abastecido periódicamente por camiones aljibes de la Municipalidad de Villa Alemana. Esta será extraída desde un punto de bombeo para ser impulsada a cada uno de los artefactos sanitarios del área administrativa del proyecto. Este procedimiento se realizará utilizando una motobomba, que tiene una potencia de 0,75 Hp, junto a un sistema hidroneumático de 80 litros, para asegurar la presión de trabajo y así tener un adecuado funcionamiento de los artefactos sanitarios.

Además, se contempla un sistema de cloración del agua, el cual se accionará automáticamente mediante dosificador de cloro, el que entregará una solución de hipoclorito de calcio.

5.1.2.2 Sistema de alcantarillado

Como se observa en la Figura 5.2, para las aguas residuales se tiene contemplado la instalación de una fosa séptica prefabricada con un volumen útil de 4.800 litros, la cual va a almacenar las aguas residuales que se van a generar en las oficinas. Después de pasar por la fosa séptica, el agua residual pasará por un dren de absorción donde el agua se infiltra en el suelo. Para el dren de absorción, se recomienda construir un ancho de dren de 1,5 metros y con una longitud total de absorción de 80 metros, por lo tanto, se considera la construcción de 4 drenes de 20 metros cada uno. En la Figura 5.3 se muestra el diseño del dren de absorción mencionado. Por otra parte, se debe destacar que la fosa séptica y el dren de absorción, se instalarán fuera del recinto.

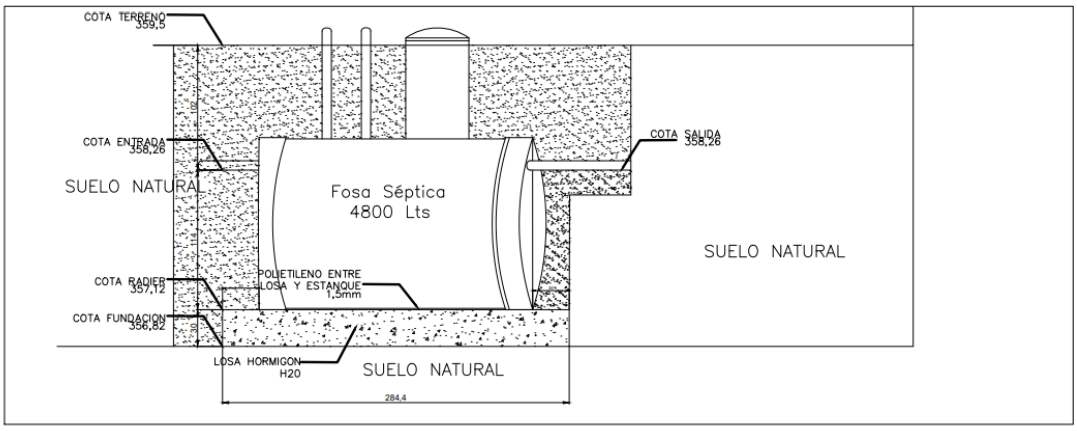


Figura 5.2: Diseño Fosa Séptica. Fuente: Geociclos, 2020.

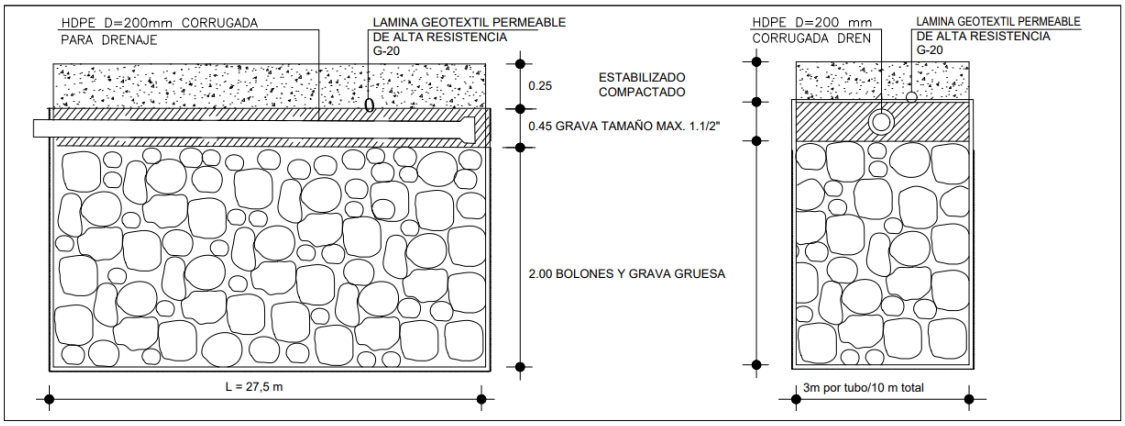


Figura 5.3: Diseño dren de absorción. Fuente: Geociclos, 2020.

También, se van a instalar dos cámaras desgrasadoras que van a tratar las descargas de aguas provenientes desde la cocina y de los lavaderos. Como se muestra en la Figura 5.4, estas cámaras desgrasadoras tienen una capacidad útil de 100 litros y su construcción es en fibra de vidrio.

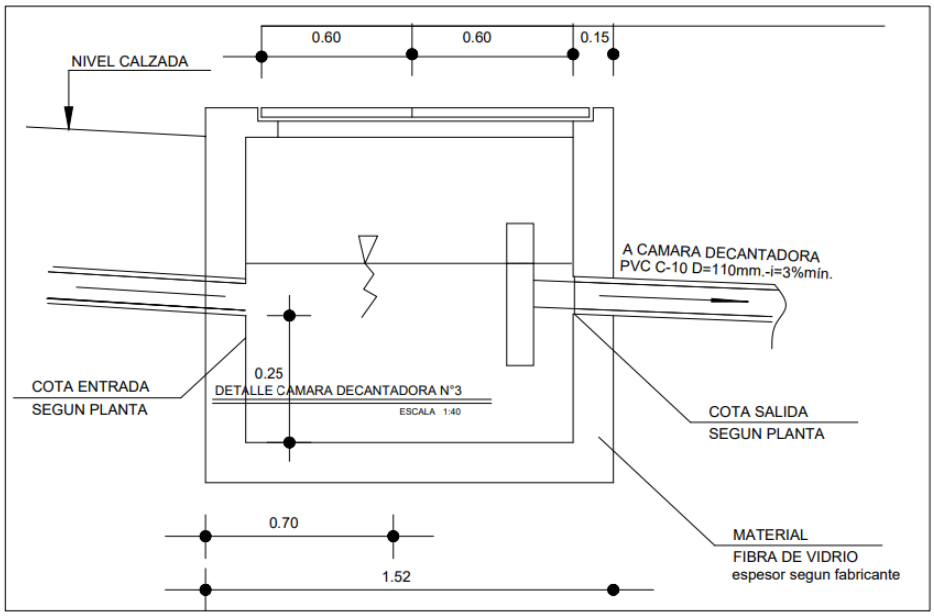


Figura 5.4: Diseño cámara desgrasadora. Fuente: Geociclos, 2020.

En el Anexo 1, se muestran un diseño complementario de la fosa séptica ya mencionada, y también, el diseño de una cámara de inspección.

Adicionalmente, para los residuos acumulados en la fosa séptica, se tiene contemplado que una empresa externa saque los residuos acumulados dentro de esta.

5.1.2.3 Distribución espacial de las instalaciones del proyecto.

Respecto a los planos del proyecto, estos se encuentran al final de este documento, en la sección de los anexos. En el Anexo 2 se muestra el diseño de la planta de compostaje, diferenciando cada una de las áreas que lo componen. En el Anexo 3 se muestra el área administrativa del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana", y en esta se identifican 4 baños diferentes (el de mujeres, el de hombres, uno de visitas y uno de minusválidos) y el área del comedor donde irá instalada una de las cámaras desgrasadoras. En el Anexo 4 se muestra el diseño del sistema de alcantarillado particular, destacándose que la fosa y el dren de absorción se encuentran ubicados fuera del recinto.

Para un mayor entendimiento de las características asociadas al consumo de agua y generación de aguas residuales, se presenta la Tabla 5.1, donde muestran algunos datos que se consideraron en el diseño del proyecto.

Tabla 5.1: Datos asociados al consumo de agua y a la generación de aguas residuales del proyecto.

Ítem	**Tipo**	**Cantidad**	**Información**
N° artefactos sanitarios	Inodoro corriente (WC)	8	3 en el baño de mujeres 3 en el baño de hombres 1 en el baño de visitas 1 en el baño de minusválido
	Lavatorio (L°)	8	3 en el baño de mujeres 3 en el baño de hombres 1 en el baño de visitas 1 en el baño de minusválido
	Baño lluvia (B°Ll)	6	3 en el baño de mujeres 3 en el baño de hombres
	Lavaplatos (Lp)	1	Ubicado en el comedor
Generador de aguas grises	Trabajadores	14-20	-
	Visitantes o personas flotantes	20	Se considera el número máximo de visitantes.
Faja arborizada	Árboles para plantar	50	De tipo nativo: Quillay (*Quillaje Saponaria Molina*) y el Maitén (*Maytenus Boaria*). Separados entre 8 a 12 metros. El agua considerada para regar esta faja arborizada es agua potable provista por camiones aljibes de origen municipal.

			Se considera un estanque de almacenamiento de 20 m3. Estas aguas se utilizarán para la faja arborizada y para humectar las pilas del proceso de compostaje.
	Requerimiento Hídrico	1,8 mm/ha/mes	Requerimiento hídrico de los árboles en etapa media.
		$1,26 \times 10^{-7}$ m^3/mes	Agua industrial considerada para el riego de la faja arborizada.

Respecto a las superficies del centro de compostaje, se estima que la zona administrativa ocupará un área de 206,9 m^2, lo que corresponde a aproximadamente al 1,4% del área total. Por otra parte, se estima que la zona de arborización tendrá una superficie de 730,33 m^2, lo que representa el 4,9% de la superficie total.

5.2 Realizar el dimensionamiento de un sistema para el tratamiento de aguas grises generadas en la operación del proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana"

5.2.1 Revisión bibliográfica de tecnologías utilizadas en tratamiento de aguas grises

Para dimensionar adecuadamente un sistema de tratamiento de aguas grises en el "Centro de Compostaje Villa Alemana", se realiza una revisión de las tecnologías empleadas en el tratamiento de este tipo de aguas, clasificándolas según sus mecanismos de acción: tratamientos físico-químicos, biológicos y de desinfección.

5.2.1.1 Tratamientos físico-químicos

Las tecnologías físico-químicas se emplean para eliminar sólidos suspendidos e inhibir microorganismos mediante procesos físicos y químicos. A continuación, se describen las tecnologías más relevantes de esta categoría, junto con sus características principales.

i. Filtros

Los filtros se utilizan para remover sólidos suspendidos, tales como pelusas, cabellos, grasas y aceites, mediante un medio mecánico poroso (Baeza, 2017). En los sistemas de aguas grises, los filtros más comunes corresponden a los de carbón activado y los de arena.

El **filtro de carbón activado**, derivado del carbón tratado con oxígeno, presenta una superficie altamente porosa con gran capacidad de absorción. Es ampliamente usado para atrapar sustancias orgánicas e inorgánicas como el cloro y para reducir olores o sustancias coloreadas. Si bien presenta

una operación simple y bajo mantenimiento en comparación a otros sistemas de filtración, requiere reemplazo periódico una vez saturado (Baeza, 2018). Por otra parte, existen químicos que no son atrapados por el carbón activado, como el sodio y nitratos.

Para un filtro de 10x54 pulgadas, el caudal es de 0,3 a 0,8 m^3/h, mientras que para uno de 63x86 pulgadas es de 10,1 a 30,2 m^3/h. Los valores mencionados se encuentran en la ficha técnica presentada en el punto 1 del Anexo 5. Por otra parte, el tiempo de retención del agua en esta tecnología es de 5 a 20 minutos.

El **filtro de arena** utiliza capas de arena de distintos tamaños para atrapar y absorber contaminantes, destacándose por su simplicidad, bajo costo de mantenimiento, larga vida útil y efectividad en la remoción de sólidos en suspensión, turbidez y TDS (superior al 80%) (Kurniawan et al., 2021). Además, presenta una alta capacidad para manejar grandes volúmenes de agua (Baeza, 2018), sin embargo, su instalación requiere de amplios espacios. Este sistema no es totalmente eficaz para eliminar patógenos ni puede reducir por sí solo los contaminantes de carbono (Kurniawan et al., 2021). Asimismo, puede obstruirse e inundarse si se sobrecarga y, en ausencia de sedimentación previa, requiere limpieza frecuente (Baeza, 2018; Kurniawan et al., 2021). Por último, su velocidad de filtración es más lenta en comparación con otros sistemas de filtración.

El tiempo de retención es de 3 a 10 minutos. Para un área de 0,45 m^2 el flujo es de 20-34 m^3/h, y de 51-85 m^3/h para una de 1,13 m^2, estos valores se presentan en la ficha técnica del punto 2 del Anexo 5.

ii. Sedimentadores

Los sedimentadores permiten que las partículas suspendidas, cuyo peso específico es mayor que el del agua, se depositen en el fondo del tanque, obteniendo así un efluente clarificado y un fango de fácil tratamiento, dada su concentración de sólido (Metcalf y Eddy, 1996). Se sugiere su uso previo a la filtración para mejorar la eficiencia del proceso (Kurniawan et al., 2021). Si bien este sistema destaca por una remoción eficiente de sólidos y fácil operación, requiere de la remoción regular de los lodos acumulados.

Para un volumen de agua de 500 litros las dimensiones del equipo son 114x84x103 cm, y para 2.000 litros son de 162x86x220 cm, tal como se muestra en el punto 3 del Anexo 5. El tiempo de retención del agua va de las 2 a 6 horas (UNATSABAR, 2005).

iii. Coagulantes y floculantes

La coagulación implica la adición de productos químicos coagulantes, como clorhidrato de calcio ($CaOH_2$) y ferrocloruro ($FeCl_3$), para eliminar partículas que contienen microorganismos, ciertos metales pesados y compuestos orgánicos de baja solubilidad, como algunos plaguicidas organoclorados. Para otros compuestos orgánicos, la coagulación suele ser ineficaz, a menos que la sustancia esté integrada en material húmico (coloides) o absorbida en partículas. El coágulo o flóculo formado debe eliminarse posteriormente mediante sedimentación, flotación o filtración (Baeza, 2017). La adición de coagulantes

puede alterar el pH, especialmente por la reacción entre nitratos y compuestos de aluminio o hierro, lo que limita su eficacia para reducir contaminantes en aguas grises mediante el tratamiento físico-químico (Kurniawan et al., 2021). Esta tecnología es efectiva para disminuir la turbidez y los niveles de DQO y DBO hasta en un 90% (Kurniawan et al., 2021), aunque puede aumentar la conductividad del agua debido a la incorporación de sales y presenta limitaciones relacionadas con el pH.

El tiempo de residencia para coagulación es de 1 minuto y para floculación de 15 a 45 minutos (LibreTexts, 2022). Esta tecnología funciona para todas las escalas, debiendo ajustar la dosis.

iv. Comparativo general

La Tabla 5.2 presenta una comparación de las tecnologías físico-químicas, incluyendo las características necesarias para el dimensionamiento adecuado del sistema de tratamiento.

Tabla 5.2: Tabla comparativa de las tecnologías físico-químicas.

Tecnología físico-química	Tiempo de retención hidráulica	Caudal o Volumen	Dimensión del equipo	Eficiencia de remoción de contaminantes
Filtros de Carbón Activado	5-20 minutos	0,3-0,8 m^3/h 10,1-30,2 m^3/h	0,348 - 3,495 m^2	-
Filtros de Arena	3-10 minutos	20-34 m^3/h 51-85 m^3/h	0,45 - 1,13 m^2	TSS, TDS y turbidez > 80%
Sedimentadores	2-6 horas	0,5 - 2 m^3	0,986 - 3,065 m^3	-
Coagulación y Floculación	1 min (coag.) 15-45 min (floc.)	Todas las escalas	-	DQO y DBO hasta 90%

5.2.1.2 Tratamientos biológicos

Los sistemas biológicos eliminan contaminantes mediante procesos biológicos. Se describen a continuación las tecnologías más relevantes de esta categoría, junto con sus características principales.

i. Biorreactor de Membrana (MBR)

El biorreactor de membrana combina el tratamiento biológico aeróbico con la filtración, facilitando la degradación de contaminantes orgánicos y la filtración de patógenos. Esta tecnología es altamente eficaz cuando se diseña y opera adecuadamente, ofreciendo flexibilidad en su funcionamiento para adaptarse a la variabilidad en la calidad y cantidad de aguas grises, permitiendo además almacenar el agua tratada indefinidamente (Baeza, 2018). Al integrar ambos procesos en una sola unidad, requiere de menor espacio y logra reducir la DQO hasta en un 80 % y los TSS hasta en un 90 % (Kurniawan et al., 2021). No obstante, esta tecnología implica complejidades operativas (Baeza, 2018).

El tiempo de residencia varía entre 4 y 8 horas. (Sperta, 2024). Para los caudales entre 50 y 150 m^3/día, se requieren equipos de un volumen de 11.000 x 2.150 x 2.200 mm, tal como se muestra en el punto 4 del Anexo 5.

ii. Humedales (Wetlands)

La tecnología de humedales consiste en la filtración a través de suelos con juncos, que reducen notablemente la carga orgánica y bacterias fecales, produciendo un efluente inodoro que puede almacenarse por varios días sin necesidad de desinfección. Sin embargo, en climas cálidos, la evaporación reduce la cantidad de agua disponible para su reciclaje (Ahumada y Rojas, 2017).

De acuerdo con Dotro et al. (2017), existen cuatro tipos de humedales: de flujo horizontal, de flujo vertical, humedales franceses de flujo vertical y superficiales de flujo libre. Sus características se detallan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3:Tipos de humedales y sus características. (Fuente: Dotro et al., 2017)

Tipo	**Descripción**
Humedal de flujo horizontal	- Las aguas residuales fluyen horizontalmente a través de un filtro o membrana, por lo que el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie. - Se producen procesos de degradación anaeróbica, debido a la saturación del agua. - Se requiere de un tratamiento primario para eliminar partículas y evitar la obstrucción del filtro. - Se utilizan macrófitas emergentes. - Se utilizan para el tratamiento secundario o terciario.
Humedal de flujo vertical	- Las aguas residuales se cargan de manera intermitente sobre la superficie y fluyen verticalmente a través del filtro - El aire entra por los poros del filtro, produciendo procesos de degradación aeróbica. - Se requiere de tratamiento primario para eliminar partículas y evitar la obstrucción del filtro. - Se utilizan macrófitas emergentes
Humedales franceses de flujo vertical	- Corresponden a 2 humedales que funcionan en serie o en paralelo. - Proporcionan un tratamiento de lodos y aguas residuales en un solo paso. - No necesita de tratamiento primario.
Humedales superficiales de flujo libre	- De apariencia similar a humedales naturales - Requieren gran superficie y con poca carga - Se pueden utilizar varios tipos de plantas: emergentes, sumergidas y flotantes. - Se utilizan principalmente para el tratamiento terciario.

En la Tabla 5.4 se muestra la eficiencia de remoción de contaminantes para cada tipo de humedal.

Tabla 5.4:Eficiencia de remoción de contaminantes. (Fuente: Dotro et al., 2017)

Parámetros	Flujo horizontal	Flujo vertical	Francés flujo vertical	Superficial de flujo libre
Sólidos totales suspendidos	> 80%	> 90%	> 90%	> 80%
Materia orgánica	> 80%	> 90%	> 90%	> 80%
Nitrógeno Amoniacal	20 - 30%	> 90%	> 90%	> 80%
Nitrógeno Total	30-50%	< 20%	< 20%	30-50%
Fósforo total	10-20%	10-20%	10-20%	10-20%
Coliformes	2 $\log_{10}$	2-4 $\log_{10}$	1-3 $\log_{10}$	1 $\log_{10}$

Los humedales minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y operadores calificados, lo que reduce los costos de inversión y mantenimiento frente a otros sistemas mecánicos de similar efectividad. Operan todo el año, excepto en climas fríos, y no generan biosólidos ni lodos residuales. Son efectivos en la remoción de DBO, DQO, SST, metales pesados y compuestos orgánicos, con capacidad para eliminar nitrógeno y fósforo en tiempos de retención mayores (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, USEPA, 2000a). Sin embargo, necesitan más espacio que otros sistemas convencionales. En climas fríos, se reduce la eficiencia en la eliminación de DBO, NH_3 y NO_3, lo que dificulta su viabilidad económica y técnica. La eliminación de coliformes fecales puede ser insuficiente, requiriendo desinfección adicional (USEPA, 2000a).

El tiempo de residencia varía de días a semanas según el diseño (USEPA, 2000a). En EE. UU., los humedales de tratamiento de aguas residuales operan con caudales desde menos de 3,785 L/día hasta más de 75,708 m^3/día (USEPA, 2000b), con un volumen estimado de 3 m^2/PE (Hoffmann et al., 2011).

iii. Contactor biológico rotatorio (RBC)

El contactor biológico rotatorio (RBC) consiste en discos o cilindros en rotación con películas biológicas adheridas, manteniendo contacto continuo con el agua residual. Este sistema elimina hasta un 95 % de TSS y un 93 % de DBO (Kurniawan et al., 2021), siendo efectivo para remover contaminantes orgánicos y nutrientes. Requiere baja energía y proporciona estabilidad operativa, además de ser adaptable a distintas escalas. Sin embargo, requiere de un espacio considerable para su instalación y operación. Su efectividad disminuye ante cambios en la carga de contaminantes, lo que puede afectar la calidad del efluente. Además, la biopelícula necesita mantenimiento constante.

El tiempo de residencia es de hasta 8 horas. Para un caudal de 54 m^3/día, se estima un área de 3,126 m^2; mientras que para un caudal de 144 m^3/día, el área media es de 8,403 m^2. Estos valores se muestran en el Anexo 5 en el punto 5.

iv. Reactor por lotes secuenciales (SBR)

El reactor por lotes secuenciales (SBR) es un reactor de flujo aireado, donde la biomasa se fija en las burbujas de espuma, y las partículas interferentes son retenidas por un tamiz automatizado. La

sedimentación ocurre durante la etapa de tratamiento biológico, y el sistema está sellado herméticamente para evitar que el aire y el agua de condensación se liberen al ambiente (Ahumada y Rojas, 2017).

Este sistema integra en una sola estructura la homogeneización de caudal, aireación y sedimentación, y destaca por su flexibilidad para alternar fases tóxicas, anóxicas y anaeróbicas. Es efectivo para caudales reducidos o intermitentes, permitiendo eliminar hasta un 90 % de DQO y un 97 % de surfactantes (Kurniawan et al., 2021). Sin embargo, su costo de inversión es mayor que el de un humedal para la misma calidad de caudal (USEPA, 2000a), y requiere un control operativo más riguroso. Es menos adecuado para plantas de gran tamaño y tiene baja tolerancia a cambios en la carga orgánica.

El tiempo de residencia varía entre 3 y 36 horas (USEPA, 1999). Para un flujo de 5 m^3/día, se estima un volumen de 2,150 x 1,500 x 2,200 mm, mientras que para un flujo de 200 m^3/día, el volumen requerido es de 2,150 x 13,500 x 3,000 mm. En el punto 6 del Anexo 5, se muestra la ficha técnica de estos datos.

v. Filtro percolador

El filtro percolador consiste en la filtración continua del agua residual a través de un medio poroso, como grava, sobre el cual se rocían las aguas residuales. Los microorganismos presentes en la superficie del filtro descomponen y oxidan los contaminantes orgánicos. Este sistema destaca por su flexibilidad de diseño, su versatilidad para tratar diversos tipos de aguas residuales, su mantenimiento sencillo y bajo costo de inversión. Logra una eficiencia de remoción de DBO de entre 80 y 85 % (Kiely, 1999). No obstante, requiere un gran espacio para su instalación y es necesario implementar procesos secundarios para asegurar una eliminación completa de contaminantes.

El tiempo de retención varía en función de la carga hidráulica, estimándose entre 1 y 2 horas. Para cargas hidráulicas que van desde los 800 hasta los 4.000 L/día, el tamaño de los filtros percoladores oscila entre 90 x 130 x 130 cm y 210 x 170 x 170 cm (Gedar, 2020).

vi. Comparativo general

A modo de síntesis, la Tabla 5.5 presenta una comparación de las tecnologías biológicas, incluyendo las características fundamentales para el dimensionamiento adecuado del sistema de tratamiento.

Tabla 5.5: Tabla comparativa de las tecnologías biológicas.

Tecnologías Biológicas	Tiempo de retención hidráulica	Caudal	Dimensión del equipo	Eficiencia de remoción de contaminantes
Biorreactor de Membrana (MBR)	4-8 horas	50-150 m^3/día	4,73 m^3	DQO hasta 80% TSS hasta 90%
Humedales Artificiales (Wetlands)	Días o semanas	3,785 m^3/día hasta más de 75.708 m^3/día	3 m^2/PE	TSS > 90% Materia orgánica > 90% Nitrógeno amoniacal > 90% Nitrógeno total hasta 50% Fósforo total 10-20%

Contactores Biológicos Rotatorio (RBC)	Hasta 8 horas	54 -144 m^3/día	3,126 - 8,403 m^2	TSS hasta 95% DBO_5 hasta 93%
Reactor por Lotes Secuenciales (SBR)	3-36 horas	5 -200 m^3/día	7,095 - 87,075 m^3	DQO hasta 90% Surfactantes hasta 97%
Filtros Percoladores	1-2 horas	0,8 - 4 m^3/día	1,521 – 6,069 m^3	DBO_5 80-85%

5.2.1.3 Desinfección

La desinfección se refiere a la destrucción de organismos patógenos, principalmente bacterias, virus y quistes amebianos. Este proceso no implica necesariamente la eliminación de todos los microorganismos del agua. Los métodos más comunes de desinfección incluyen agentes químicos, físicos y radiación. Los agentes químicos utilizados en la desinfección son el cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados, colorantes, jabones, compuestos amoniacales cuaternarios, agua oxigenada, así como diversos ácidos y álcalis. De estos, el cloro, el bromo, el yodo y el ozono son los más utilizados en la desinfección de aguas residuales, siendo el cloro el más común a nivel mundial. Entre los agentes físicos se encuentran la luz y el calor.
La luz solar, específicamente la radiación ultravioleta, puede emplearse para pequeños volúmenes de agua mediante lámparas especiales. Por otra parte, calentar el agua hasta su punto de ebullición es efectivo para eliminar bacterias, aunque resulta costoso. Finalmente, los principales tipos de radiación utilizados incluyen la radiación electromagnética, acústica y de partículas (Metcalf y Eddy, 1996).

A continuación, se describen las tecnologías más utilizadas de esta categoría, correspondientes al cloro, ozono y luz ultravioleta.

i. Cloro

La cloración es ampliamente utilizada para la desinfección microbiológica, aunque el cloro también actúa como agente oxidante. Este elemento es capaz de eliminar o modificar ciertas sustancias químicas, como algunos plaguicidas, y de oxidar elementos disueltos, como el manganeso, formando productos insolubles que pueden ser retirados mediante filtración. Además, el cloro convierte ciertas especies disueltas, como el arsenito, en formas más fáciles de remover, como el arseniato (Baeza, 2017).

Los compuestos de cloro más comunes en el tratamiento de aguas residuales incluyen el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaClO), el hipoclorito de calcio [$Ca(ClO)_2$] y el dióxido de cloro (ClO_2). Los hipocloritos suelen emplearse en plantas pequeñas, donde la simplicidad y la seguridad superan al costo. El dióxido de cloro, al no reaccionar con el amoníaco, puede generar subproductos potencialmente tóxicos como el clorito y el clorato (Metcalf y Eddy, 1996).

El cloro es altamente efectivo para eliminar bacterias cuando el proceso está bien diseñado y operado. No obstante, su eficacia puede reducirse en presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos, como

el amoníaco (Baeza, 2018). Este sistema tiene requerimientos operativos mínimos y permite flexibilidad en la dosificación, aunque puede dejar sabor y olor en el agua.

El tiempo de contacto recomendado varía entre 20 y 30 minutos (Nuevo, 2024), y las dosis suelen estar entre 5 y 15 mg/L (Instituto del agua, 2024). Además, puede eliminar mas del 99% de virus y bacterias patógenas en el agua (USEPA, 1999)

ii. Ozono

El ozono es un potente oxidante que se emplea en el tratamiento de aguas para la oxidación de compuestos químicos orgánicos. Su aplicación en combinación con procesos adicionales, como filtración biológica o carbón activado granular (CAG), permite eliminar compuestos biodegradables. Además, el ozono es eficaz en la degradación de una amplia variedad de plaguicidas (Baeza, 2017) y actúa como virucida, superando en efectividad al cloro en muchos casos. Otra característica del ozono en el tratamiento de aguas es que no produce sólidos disueltos ni se ve afectado por el pH ni la presencia de iones de amonio (Metcalf y Eddy, 1996).

Este sistema elimina olores, reduce la demanda química de oxígeno (DQO) hasta en un 65% y el carbono orgánico hasta en un 50%. También es eficaz para descomponer compuestos nitrogenados, aunque menos efectivo para el fósforo. Sin embargo, el ozono es más costoso y requiere un diseño y operación cuidadosos, además de mayores medidas de seguridad (Kurniawan et al., 2021).

Su tiempo de contacto es de al menos 4 minutos con dosis inferiores a 5 mg/L, y se aplica mediante difusores, tubos Venturi en escalas pequeñas, o tanques de contacto en instalaciones más grandes.

iii. Luz Ultravioleta

La radiación ultravioleta desinfecta el agua al penetrar la pared celular de los microorganismos, interfiriendo con sus funciones celulares y provocando su muerte o incapacidad de reproducción. Este tratamiento requiere agua libre de turbidez para ser efectivo y se implementa mediante matrices de lámparas a través de las cuales circula el agua residual (Metcalf y Eddy, 1996).

Si bien este método implica bajos requerimientos operativos (Baeza, 2018), tiene un costo superior a otros métodos de desinfección. La luz UV es eficaz contra bacterias y virus, no genera compuestos tóxicos y, en combinación con H_2O_2 u ozono, produce radicales hidroxilos que eliminan contaminantes orgánicos (Kurniawan et al., 2021). Sin embargo, su efectividad puede disminuir con variaciones en el contenido orgánico del agua residual (Baeza, 2018). Su alcance es limitado, ya que no penetra materiales opacos y solo desinfecta superficies expuestas directamente a la luz.

El tiempo de retención es breve, generalmente en segundos, y los caudales varían entre 10 y 900 m^3/h. Los equipos UV tienen tamaños que van desde 9 cm de longitud y 1,6 cm de diámetro hasta 20 cm de longitud y 7 cm de diámetro. Además, tienen un porcentaje de remoción entre el 99,9% y 99,99% en remoción de agentes patógenos. En el Anexo 5, punto 7, se muestra una ficha técnica con estos datos.

iv. Comparativo general

La Tabla 5.6 presenta una comparación de las tecnologías de desinfección, incluyendo las características necesarias para el dimensionamiento adecuado del sistema de tratamiento.

Tabla 5.6: Tabla comparativa de las tecnologías para la desinfección.

Tecnología Desinfección	Tiempo de contacto	Caudal	Especificaciones del equipo	Eficiencia de remoción de contaminantes
Cloro	20-30 minutos	Todos los caudales	Dosis: 5-15 mg/L	>99% coliformes fecales, virus y bacterias patógenas
Ozono	4 minutos	Todos los caudales	Dosis: < 5 mg/L	DQO hasta 65% Carbono orgánico hasta 50%
Luz UV	Segundos	10-900 m^3/h	0,09-0,20 m largo 0,016-0,07 m diámetro	Hasta 99,99% de agentes patógenos

5.2.2 Justificación de elección diseño de tratamiento

En este proyecto se hizo la elección de utilizar un humedal artificial, por las siguientes razones:

- Caudal de aguas grises generadas: Debido a la capacidad de los humedales de manejar un rango de caudales bastante amplio, desde 3,785 m^3/día hasta más de 75,708 m^3/día, se puede ajustar fácilmente a las necesidades específicas de este proyecto, proporcionando una mayor flexibilidad en el diseño del sistema de tratamiento de aguas grises. Además, el sistema requiere 3 m^2 por persona equivalente, lo que permite dimensionar de manera más precisa según la carga orgánica.
- Mantención: Los humedales artificiales requieren menor mantenimiento en comparación con otros sistemas de tratamiento, ya que no generan lodos residuales que necesiten tratamiento adicional.
- Poco aporte de materia orgánica en el agua gris a tratar: Los humedales artificiales pueden tratar pequeñas cargas de contaminantes y mantener el funcionamiento eficiente del sistema, logrando remociones superiores al 90% tanto en sólidos totales suspendidos como en materia orgánica.

Otros aspectos que considerar:

- Paisajismo: Los humedales artificiales son sistemas que se integran estéticamente en entornos que se encuentran al aire libre y es una tecnología que es amigable a la vista.
- Experiencia o ejemplos exitosos que trabajan con humedales: Considerando los ejemplos descritos en la Introducción de este informe, los humedales artificiales son una tecnología que se está utilizando con mayor frecuencia y esto proporciona una mayor seguridad sobre la efectividad de este tipo de sistema.

Respecto al tipo de humedal, se va a diseñar un humedal de tipo vertical por las siguientes razones:

- Proceso Aeróbico: Se utilizará este tipo de humedal debido a que permite una mejor aireación del agua que fluye a través de él. Al pasar el agua de manera intermitente desde la parte superior hacia la inferior, permite que al sustrato le ingrese aire, facilitando la degradación de los contaminantes mediante procesos aeróbicos. A diferencia de los humedales horizontales que tienden a volverse anaeróbicos.
- Remoción de contaminantes: Presenta un mayor porcentaje de remoción de contaminantes, comparándola con los otros tipos de humedales presentados.

Otros criterios por considerar:

- Espacio superficial: Los humedales verticales utilizan menor espacio que uno horizontal para tratar el mismo volumen de agua, siendo una ventaja para cuando el espacio disponible de tratamiento se encuentra limitado.
- Menor riesgo de estancamiento: En los humedales de tipo vertical, el flujo del agua pasa más rápido por el sustrato, reduciendo el riesgo de saturación del lecho.
- Olores: Debido a la oxigenación del lecho y los procesos aeróbico, se generan menos olores desagradables.
- Control del Flujo: Al ser diseñados para recibir el agua mediante dosis o ciclos, facilita que se pueda ajustar el caudal según las necesidades del sistema, permitiendo una mayor flexibilidad de operación.

Previamente al sistema biológico, se utilizará un filtro de malla para evitar que los residuos sólidos pasen hacia el humedal vertical y así evitar que se estanque el sistema. Esta decisión se basa en el requerimiento técnico de los humedales de contar con un tratamiento primario para eliminar partículas y evitar la obstrucción del filtro.

Finalmente, para la desinfección de las aguas tratadas, se va a utilizar una lámpara de luz UV, según las siguientes razones:

- Facilidad de uso: Esta desinfección no requiere un manejo complejo, por lo tanto, no se necesita de personas especializadas técnicamente para manejarla. El sistema opera con tiempos de retención breves (segundos) y puede manejar caudales entre 10 y 900 m^3/h.
- No genera residuos: A diferencia de los otros métodos de desinfección, como el cloro que puede dejar subproductos debido a las reacciones químicas, la luz UV actúa eliminando los patógenos sin generar residuos peligrosos como lixiviados o gases tóxicos. Por lo tanto, es una opción más segura para el medio ambiente y para las personas del entorno.

5.2.3 Diseño del sistema de tratamiento de las aguas grises

Las aguas grises que se van a generar durante la operación del centro de compostaje van a pasar por los siguientes procesos: primero las aguas grises que se generan en la cocina y en los lavaderos van a pasar por dos cámaras desgrasadoras, las cuales ya están contempladas en el proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana". Luego estas aguas se van a juntar con las aguas generadas en las duchas de los baños, las cuales pasarán por un filtro de malla para eliminar sólidos y luego quedan almacenadas en un estanque de almacenamiento 1. Posteriormente, las aguas pasarán hacia el humedal vertical, impulsada hasta la parte superior del humedal. Luego, las aguas se impulsarán desde el sumidero del humedal hasta el estanque de almacenamiento 2, pasando por el proceso de desinfección por luz UV. Finalmente, las aguas tratadas estarán disponibles para ser utilizadas para el riego de las áreas verdes del lugar. El proceso descrito no considera el sistema de conducción desde el estanque de almacenamiento 2 hacia las áreas verdes a regar.

En la Figura 5.5 se presenta el diagrama de bloques de los procesos del sistema de tratamiento propuesto.

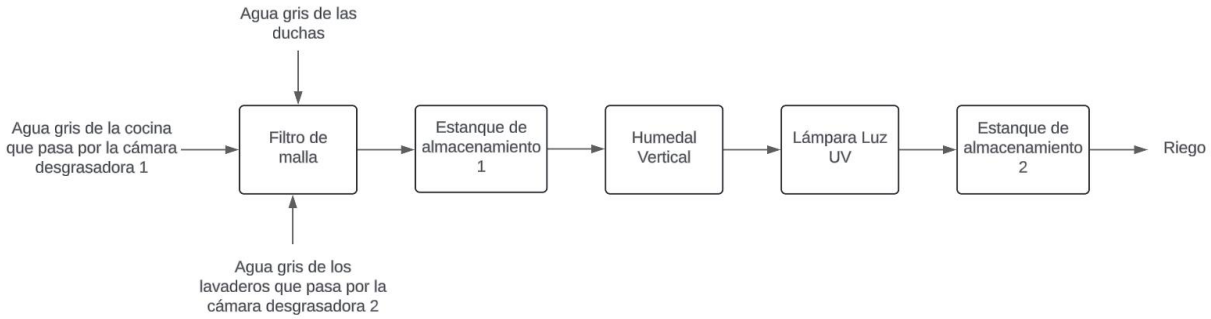


Figura 5.5: Diagrama de bloques del sistema de tratamiento.

5.2.3.1 Filtro de malla

Las aguas provenientes de las duchas, lavatorios y de la cocina pasarán por un filtro de malla, con el objetivo de retener algunos sólidos que lleva el agua, y así evitar que el humedal vertical se estanque. Se va a utilizar un filtro con capacidad filtrante de 80 micras, que permite pasar un caudal máximo de 6.000 L/h y utiliza conexión de tubería de 32 mm en PVC. Estos datos son concordantes con el filtro de malla mostrado en el punto 1 del Anexo 6.

5.2.3.2 Estanque de almacenamiento 1

Las aguas provenientes de las duchas, lavatorios y de la cocina, luego de pasar por el filtro de malla, se van a acumular en un estanque de almacenamiento para, posteriormente, ser impulsada hacia el humedal vertical.

En cuanto al volumen requerido para el estanque de almacenamiento, se estima que con un caudal de agua gris de 1,96 m^3/día y dejando un margen seguridad del 15%, el volumen total del estanque debe ser de aproximadamente 2,25 m^3.

De acuerdo con las dimensiones de estanques de almacenamiento que ofrece el mercado, se va a utilizar un estanque de volumen de 2.400 litros. En el punto 2 del Anexo 6, se muestra el estanque a utilizar.

5.2.3.3 Humedal Vertical

Los humedales verticales son un sistema de tratamiento de aguas residuales que imitan los procesos de purificación de los humedales naturales. En este tipo de humedal, el agua ingresa por la parte superior y desciende a través del medio filtrante, para luego ser drenada por la parte inferior.

En la figura 5.6 se muestran los componentes de este tipo de humedal, los cuales serán detallados en los siguientes apartados.

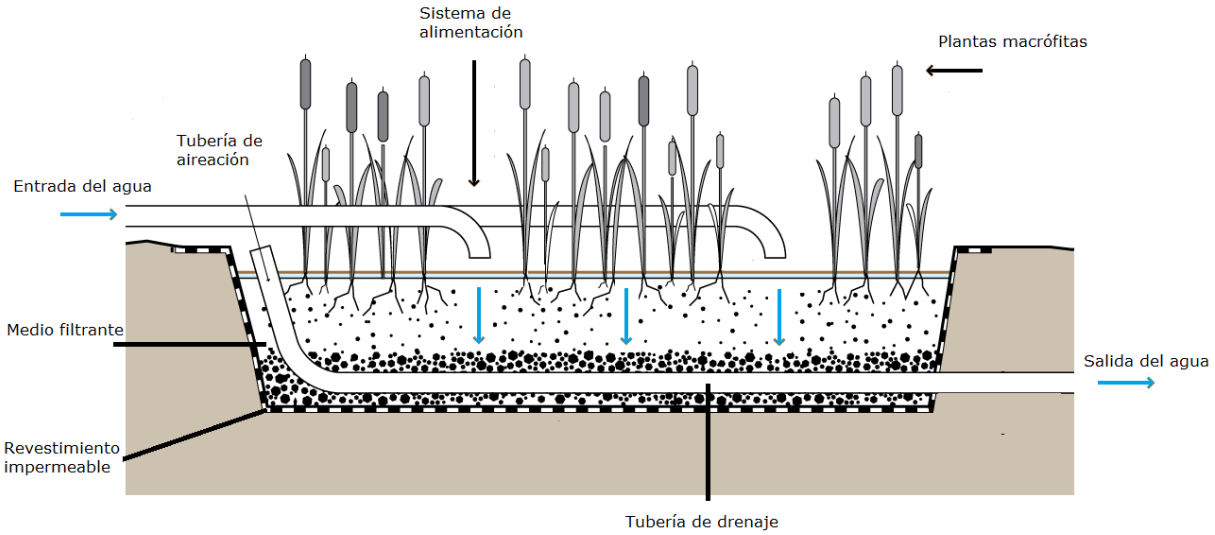


Figura 5.6: Partes de un Humedal Vertical. (Adaptado de Tilley et al., 2018)

En el diseño del humedal vertical, cada componente cumple un rol específico en el proceso de tratamiento de las aguas. Para ello, es fundamental calcular las dimensiones y parámetros de cada uno de estos elementos. A continuación, se detallarán los cálculos necesarios para poder dimensionar el sistema.

i. Área superficial

Para poder dimensionar el área superficial del humedal, se van a utilizar las siguientes ecuaciones:

$$A_s = \frac{Q * (\ln C_0 - lnC_e)}{K_{BOD}}$$ Ecuación 5.1: Área superficial

Donde:

A_s es el área superficial
Q es caudal medio diario de las aguas residuales [m³/día]
$Ln\ C_0$ es la concentración de DBO_5 entrada [mg/L]
$Ln\ C_e$ es la concentración de DBO_5 de salida [mg/L]
K_{BOD} es la tasa constante [m/día]

K_{BOD}: se determina a partir de la siguiente expresión:

$$K_{BOD} = K_T * d * n$$ Ecuación 5.2: Tasa constante BOD

Donde:

$K_T = K_{20}\ x\ 1.06^{(T-20)}$
K_{20} es la constante a 20°C [d^{-1}]
T es la temperatura operacional del sistema [°C]
d es la profundidad de la columna de agua [m]
n es la porosidad del medio sustrato [% expresado como fracción]

Para aplicar estas ecuaciones, primero se estima el caudal de aguas grises que se van a generar en el proyecto "Centro de Compostaje Villa Alemana". Entonces, teniendo en cuenta que para 20 trabajadores se necesita de una dotación de agua potable de 150 L/persona/día y que para 20 visitas se requiere de una dotación de 25 L/persona/día, el caudal de agua potable necesario para el proyecto se estima en:

$$Q_{Agua\ potable} = 20\ trabajadores * \frac{150 \frac{L}{trabajador}}{día} + 20\ visitas * \frac{25 \frac{L}{visita}}{día}$$
$$Q_{Agua\ potable} = 3.500\ L/día$$

Además, se estima que el 80% del agua potable utilizada se convertirá en aguas servidas, de las cuales el 70% corresponde a aguas grises (BCN, 2023). Por lo tanto, el caudal de aguas grises que se generarán durante la operación del proyecto será de:

$$Q_{Aguas\ grises} = 3.500 \frac{L}{día} * 0{,}8 * 0{,}7$$
$$Q_{Aguas\ grises} = 1.960\ L/día$$

Después de determinar el caudal de las aguas grises, se estiman las cargas orgánicas que traen estas aguas. Dado que no se dispone de un análisis de las aguas a tratar, la carga orgánica se estimará a partir

de referencias bibliográficas. Se considera que las aguas grises tienen características similares a las de aguas residuales diluidas, ya que los artefactos que se conectan a la red de aguas grises no deberían generar descargas con carga orgánica significativa. Por lo tanto, se determina que la carga orgánica del afluente es de 150 mg/L. (Vidal y Hormazábal, 2018)

Considerando que la eficiencia de remoción de materia orgánica (DBO_5) para un humedal vertical es de aproximadamente 90% (porcentaje mencionado en la Tabla 5.4), la carga orgánica del efluente (Ce) es:

$$Ce = Co * (1 - 0{,}9) = 150 \frac{mg}{L} * (1 - 0{,}9) = 15\ mg/L$$

Por otra parte, teniendo en cuenta que la profundidad de humedal es de 70 cm, la porosidad del sustrato será de 30%, el valor de K_{20} se considera como 1,1, la temperatura operacional es de 15 °C, se tiene el siguiente valor para K_{bod}:

$$K_T = 1.1 * 1.06^{(15-20)} = 0.82\ d^{-1}$$

$$K_{bod} = 0.82\ d^{-1} * 0{,}7\ [m] * 0{,}3 = 0{,}17[\frac{m}{día}]$$

Integrando los datos calculados anteriormente, el área superficial del humedal vertical corresponde a:

$$A_s = \frac{Q * (\ln C_0 - lnC_e)}{Kbod} = \frac{1{,}960 \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{día}} * (\ln 150 - \ln 15)}{0{,}17 \frac{m}{día}} = 26{,}55\ \mathrm{m}^2$$

ii. Relación Largo/Ancho

Si bien no hay especificaciones para este tipo de humedal respecto a la relación entre el largo y el ancho del sistema, usualmente se utiliza la relación 1/1 o 2/1. Teniendo en cuenta lo anterior, la relación largo/ancho para esta propuesta será de 2/1. Reemplazando esta relación en el área de la superficie, se tiene que:

$$A_s = Largo * Ancho$$ Ecuación 5.3: Área Superficial

Considerando la relación:

$$A_s = (2 * Ancho) * Ancho$$

Entonces, el ancho y el largo del humedal son:

$$Ancho = \sqrt{\frac{A_s}{2}} = \sqrt{\frac{26{,}55\ \mathrm{m}^2}{2}} = 3{,}64\ m$$

$$Largo = 2 * 3{,}64\ m = 7{,}29\ m$$

Una vez establecidas las dimensiones del humedal, es necesario verificar si estas se ajustan al espacio disponible en el terreno. En la figura 5.7 se muestra una parte del plano del sistema de alcantarillado de aguas servidas y en la figura 5.8 se presentan las dimensiones de la zona administrativa, lugar donde se van a generar las aguas grises a tratar.

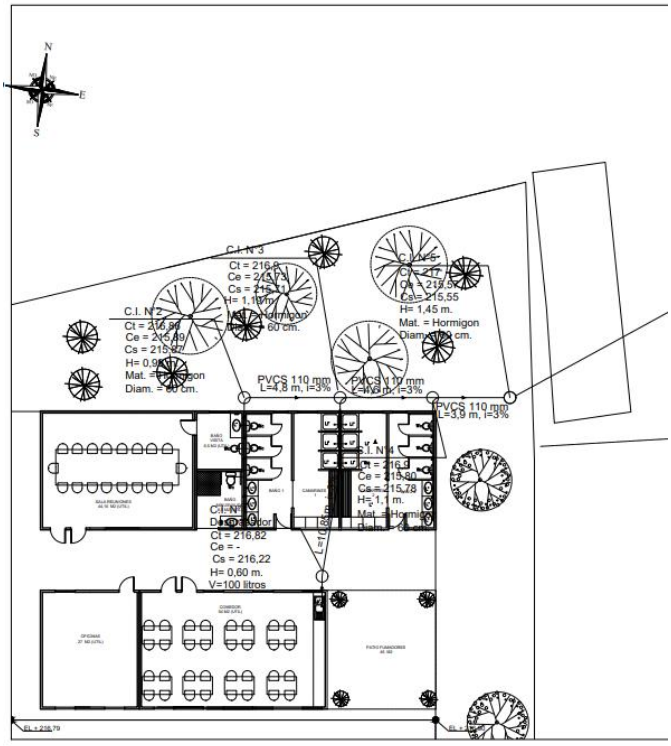


Figura 5.7: Parte del sistema de alcantarillado de aguas servidas del proyecto.

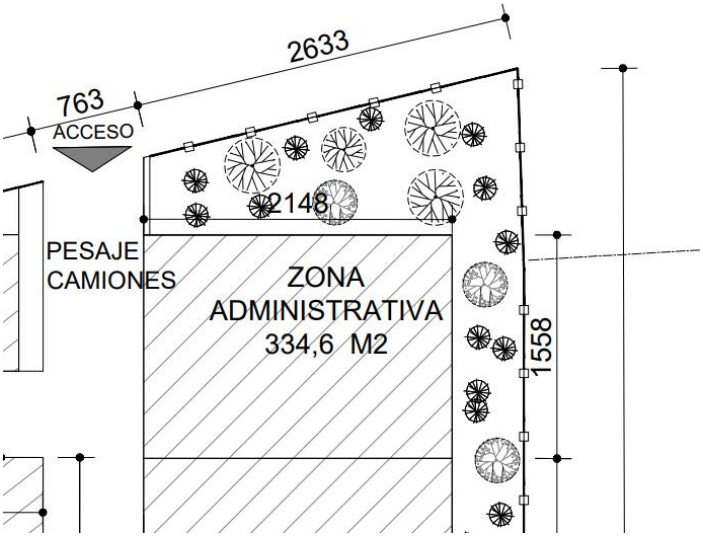


Figura 5.8: Dimensiones de la zona administrativa y área verde que la rodea.

Para determinar si las dimensiones del humedal se ajustan al espacio disponible, se debe considerar su proximidad a las tuberías de aguas servidas, ya que el sistema debe evacuar las aguas al superar las 48 horas de almacenamiento o en caso de rebalse del estanque. Analizando el plano de aguas servidas del proyecto (Figura 5.7), se identifica que la ubicación más adecuada es en la parte norte a la zona administrativa, donde se tiene proyectado la utilización de ese espacio como áreas verdes.

Al analizar las dimensiones disponibles que muestra el plano (Figura 5.8), se tiene que el largo de la zona administrativa es de 21,48 m, lo cual supera ampliamente los 7,29 m requeridos del humedal. Por otra parte, los 15,58 m de ancho de la zona administrativa, es ligeramente mayor en comparación al lateral superior derecho.

Analizando visualmente los planos, se puede confirmar que el humedal se puede instalar en el área norte del área administrativa.

iii. **Profundidad del lecho**

En general la profundidad de un humedal artificial de flujo subterráneo se restringe a la profundidad de las raíces de las plantas a utilizar, ya que las raíces deben tener contacto con el flujo de agua para hacer efectivo el tratamiento. Adicionalmente, se debe considerar el tiempo de retención hidráulico.

Según la experiencia en otros países, las profundidades utilizadas varían entre los 50 y los 100 cm, siendo 70 cm el valor a utilizar para el medio filtrante (UN-HABITAT, 2008).

Por lo tanto, para esta propuesta de tratamiento se va a utilizar un valor 70 cm de profundidad del lecho, con 20 cm de espacio libre sobre la superficie, teniendo un total de 90 cm de profundidad en el humedal.

iv. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico, es el tiempo en que el agua estará dentro del humedal. Y se calcula de la siguiente manera:

$$THR = \frac{A_s * d * n}{Q}$$

Ecuación 5.4: Tiempo de retención hidráulico.

Donde:

As es el área superficial [m^2]
d es la profundidad de la columna de agua [m]
n es la porosidad del medio sustrato [% expresado como fracción]
Q es el caudal de entrada [m^3/día]

Entonces, reemplazando los valores estimados anteriormente, el tiempo de retención hidráulico es de:

$$THR = \frac{26{,}55\ \mathrm{m}^2\ x\ 0{,}7\ m\ x\ 0{,}3}{1{,}960\ \mathrm{m}^3/día}$$
$$THR = 2{,}8\ días$$

v. Selección del medio

El medio utilizado en los humedales artificiales tiene diferentes funciones: sirve de material para que enraíce la vegetación, ayuda a distribuir y recolectar uniformemente el flujo de entrada/salida del agua, proporciona una superficie para el crecimiento microbiano, y filtra y atrapa partículas. (UN-HABITAT, 2008).

Para este humedal, se propone utilizar una las siguientes capas, descritas desde arriba hacia abajo:

- Capa filtrante de 40 cm de alto, utilizando una arena de 1 a 4 mm de espesor.
- Capa de transición de 10 cm con arena de 4-10 mm.
- Capa de drenaje de 20 cm con grava entre 20- 60 mm.

En la figura 5.9, se muestra la distribución de las capas del medio filtrante.

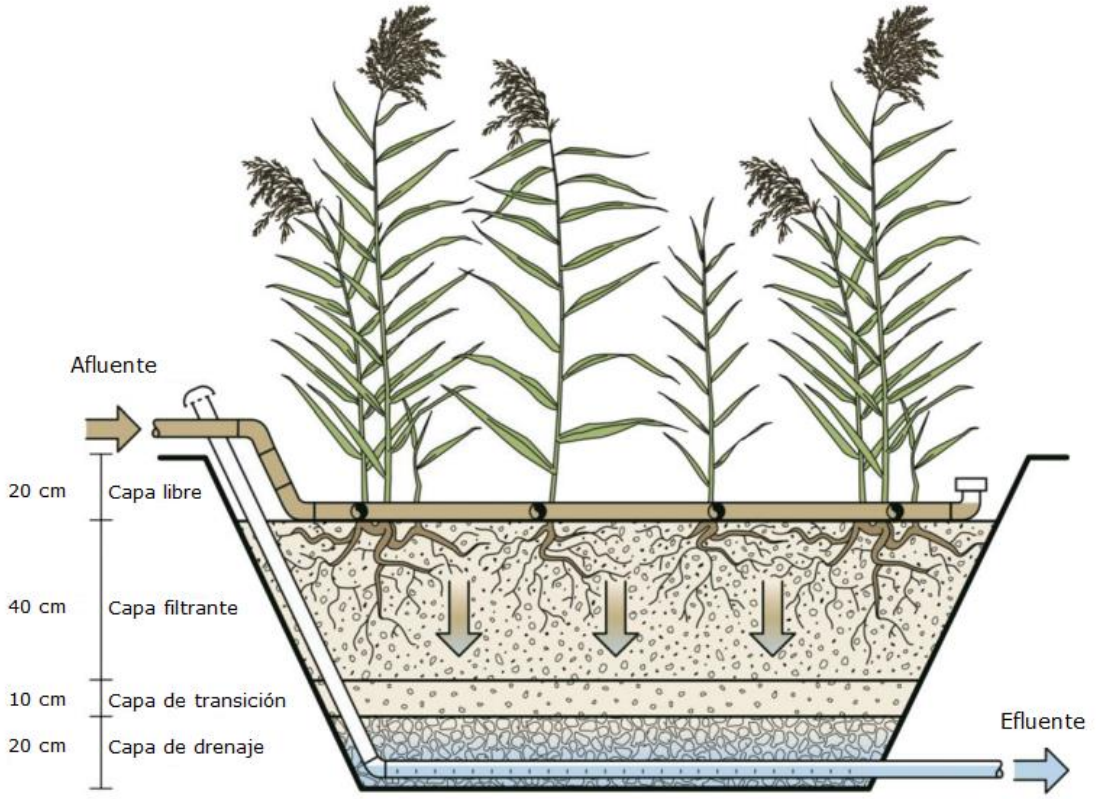


Figura 5.9: Distribución del medio filtrante (Adaptado de Dotro et al., 2017).

A partir de lo mencionado, se calcularán los volúmenes ocupados por cada una de estas capas:

$$V_{\ capa} = largo * ancho * profundidad$$ Ecuación 5.5: Volumen de capas.

Por lo tanto, para la capa filtrante se tiene:

$$V_{\ capa\ filtrante} = 7{,}29\ m * 3{,}64\ m * 0{,}40\ m = 10{,}61\ m^3$$

Para la capa de transición se tiene:

$$V_{\ capa\ de\ transición} = 7{,}29\ m * 3{,}64\ m * 0{,}10\ m = 2{,}65\ m^3$$

Y para la capa de drenaje se tiene:

$$V_{\ capa\ de\ drenaje} = 7{,}29\ m * 3{,}64\ m * 0{,}20m = 5{,}3\ m^3$$

vi. Impermeabilización de la cama

El humedal debe estar revestido para evitar el contacto directo de las aguas grises y las aguas subterráneas, además de evitar pérdidas por infiltración. Se sugiere utilizar polietileno de alta densidad (HDPE) de grosor superior a 0,5 mm y utilizar geotextil de 140 gr/ m^2.

Para el cálculo de las dimensiones, tanto para el polietileno y el geotextil a utilizar, se debe sumar cada una de las superficies de las caras del humedal. Se considera que debe sobresalir por la parte superior 1 metro hacia afuera desde el borde del humedal. Por lo tanto, el cálculo del área interior queda de la siguiente forma:

$$Área = (Largo * Ancho) + 2 * (Largo * Profundidad) + 2 * (Ancho * Profundidad) =$$
$$(7{,}29m * 3{,}64m) + 2 * (7{,}29m * 0{,}9m) + 2 * (3{,}64m * 0{,}9m) = 46{,}2\ m^2$$

Por otro lado, el área sobresaliente queda:

$$Área\ sobresaliente = [(Largo + 2m) * (Ancho + 2m)] - (Largo * Ancho) =$$
$$(9{,}29\ m * 5{,}64m) - (7{,}29\ m * 3{,}64\ m) = 25{,}86\ m^2$$

Sumando ambas áreas, se tiene un área total de 72,06 m^2, siendo este valor el área que se necesita para cada uno de los revestimientos.

vii. Sistema de distribución de entrada

Para esta propuesta, el agua será bombeada desde el estanque de almacenamiento y se distribuirá mediante una tubería principal que se ubica a lo largo del humedal (por el borde), de la cual se conectan tuberías laterales de forma paralela. Este sistema se ubica sobre la superficie del lecho filtrante y las tuberías laterales tendrán goteros para distribuir el agua sobre toda la superficie del humedal.

Considerando que el humedal vertical tiene de largo 7,29 m y de ancho 3,64 m, y que la distancia entre cada línea de tubería debe estar entre 0,4 a 0,7 m, el diseño del sistema es el siguiente:

- Desde la tubería principal se colocarán 17 tuberías laterales de manera paralela, las cuales tienen una separación de 0,4 m entre sí.
- Cada tubería lateral tendrá 8 goteros los cuales están a una distancia de 0,4 m entre sí.
- Tanto la tubería principal y las tuberías laterales serán de 1 pulgada de diámetro.

Para un mejor entendimiento de lo descrito, en la figura 5.10 se muestra la distribución de las tuberías, identificando cada uno de sus componentes.

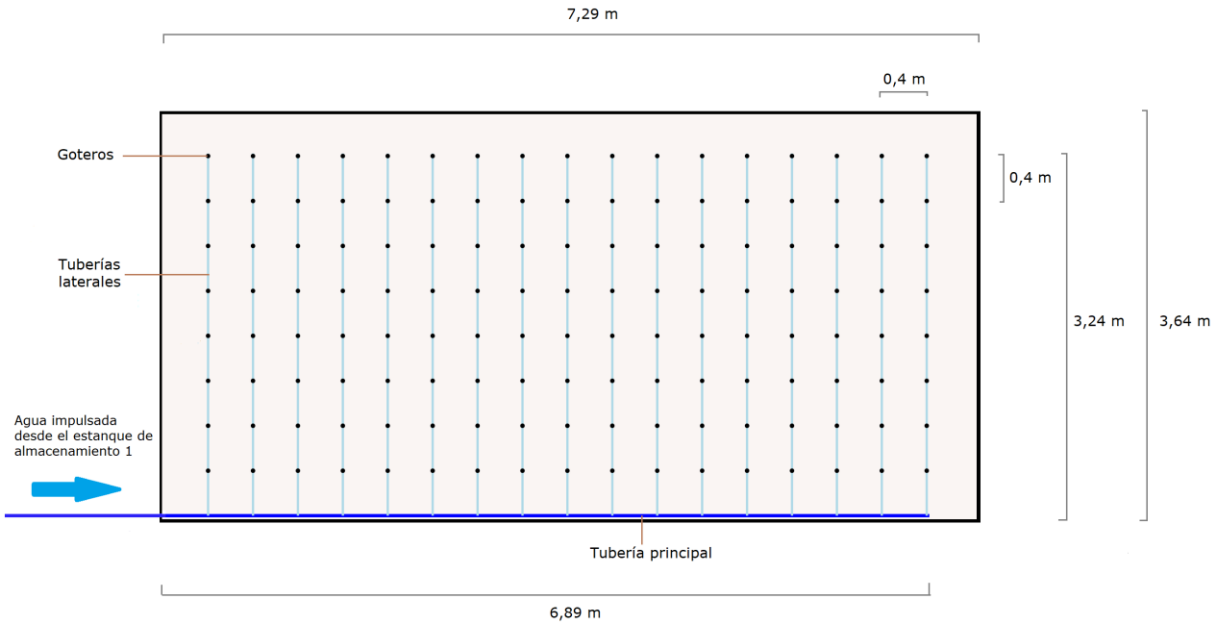


Figura 5.10: Diseño sistema de distribución de entrada, vista desde arriba.

viii. Sistema de recolección, drenaje y ventilación

El sistema de recolección será una red de tuberías de drenaje que tiene orificios de manera aleatoria y esta red conducirá hacia un sumidero de recogida. Estas tuberías estarán separadas a una distancia de 1 m y su disposición es paralela al lado más largo del humedal, es decir, se utilizarán 3 tuberías de 7,20 m de largo, las cuales están conectadas a una tubería que dirige el agua al sumidero de recogida.

Es necesario que este sistema tenga tuberías de aireación, separadas 1 m entre cada una, las cuales están conectadas directamente al sistema de drenaje. Estas tuberías serán de 75 mm y se conectan a las tuberías de drenaje de 110 mm. Las tuberías de aireación sobresalen aproximadamente 30 cm sobre la superficie del lecho filtrante, es decir, tienen un largo de 1 m.

Para un mejor entendimiento de los datos mencionados, en la figura 5.11 se muestra la ubicación y dimensiones de las tuberías que recolectarán las aguas tratadas por el humedal.

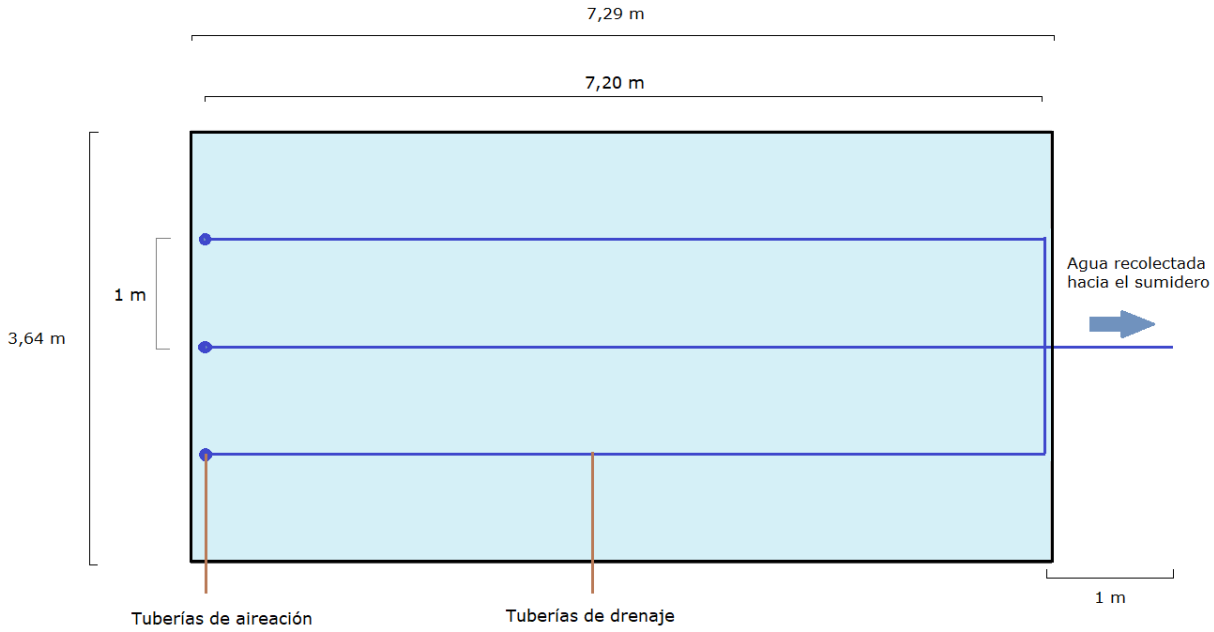


Figura 5.11: Diseño sistema de recolección y drenaje, vista desde arriba.

Las aguas que salen del humedal deben ser almacenadas en el sumidero de recolección. Este se encuentra a una distancia de 1 m del humedal y sus dimensiones son: 2 m de largo, 1 m de ancho y 2 m de profundidad. La figura 5.12 ilustra lo mencionado anteriormente.

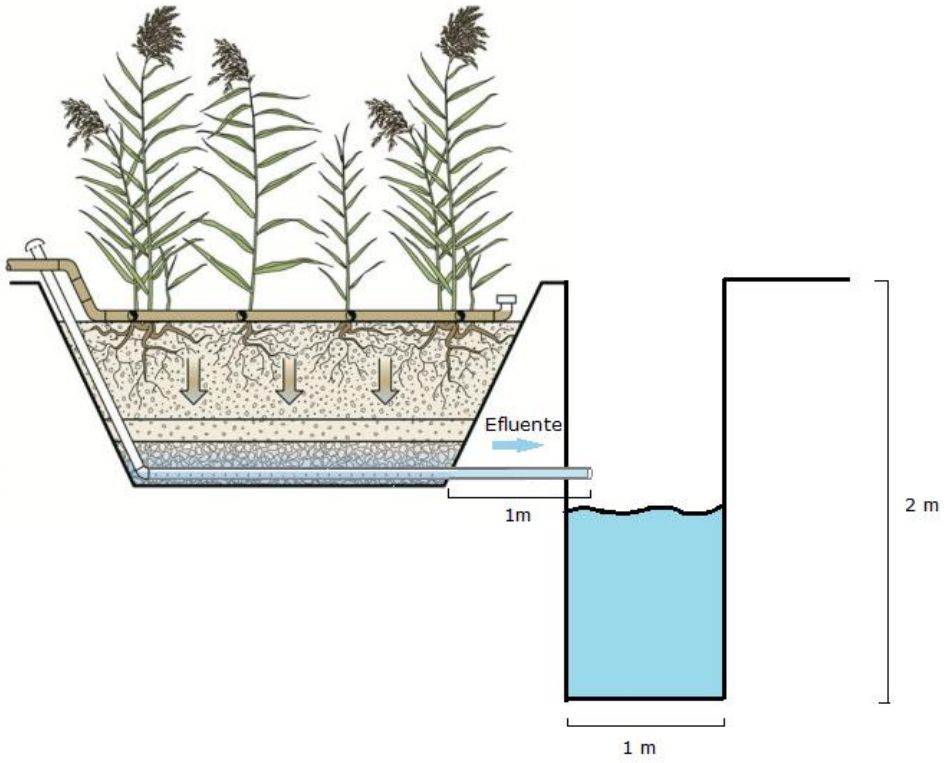


Figura 5.12: Diseño del sumidero de recolección, vista lateral (Adaptado de Dotro et al., 2017).

ix. Plantas por utilizar

Las plantas que se utilizan en los humedales verticales son de tipo macrófitas, idealmente que sean predominante en la región, sus raíces deben ser profundas con rizomas fuertes y raíces fibrosas.

La planta elegida es la *Schoenoplectus californicus,* especie de la familia de las ciperáceas, también conocida como Totora, Tromen o Estoquilla. Esta hierba es perenne, emergente (sobresale de la superficie del agua), tiene un rizoma horizontal robusto y su tallo puede medir entre 60 a 120 cm de alto (Currículum Nacional, 2024). Esta planta demostró remover el 87,28% de DBO_5, 81,53% de SST y 91,91% de coliformes termotolerantes (Hernández y Vargas, 2021).

La densidad de plantas recomendada para los humedales de tratamiento de aguas es de 4 plantas por m^2 y esto se calcula según la superficie del lecho.

$$N° \, Plantas \; = \; 4 \, plantas/\mathrm{m}^2 \; * \; A_s$$

Ecuación 5.6: Cálculo de plantas

$$N° \, Plantas \; = \; 4 \frac{plantas}{\mathrm{m}^2} * \; 26{,}55 \; \mathrm{m}^2 = 106 \, plantas$$

En la Figura 5.13 se muestran imágenes de referencia de la planta elegida.



Figura 5.13: Schoenoplectus californicus. Fuente: Currículum Nacional, 2024.

5.2.3.4 Lámpara de Luz UV

Una vez que las aguas son tratadas en el humedal y son recolectadas en el sumidero de recolección, estas pasarán por el sistema de desinfección usando una lámpara de luz UV, con el objetivo de eliminar los agentes patógenos que puedan traer las aguas del humedal. Para una buena efectividad de este sistema, es necesario que el agua no se encuentre turbia para que la luz pueda penetrar el flujo de agua.

El producto seleccionado es una lámpara de Luz UV para tuberías de diámetro de 1/2”, con una potencia de 25 W, para un caudal de 6 galones/min y una vida útil de 9.000 horas. Los datos mencionados son concordantes con la lámpara de luz UV mostrada en el punto 4 del Anexo 6.

5.2.3.5 Estanque de almacenamiento 2

Finalmente, las aguas que ya pasaron por la desinfección por luz UV, se van a almacenar en un estanque de almacenamiento para posteriormente ser utilizadas para el riego.

Respecto al volumen del estanque de almacenamiento, se va a considerar lo siguiente:

1. Durante el proceso no hay pérdidas considerables de agua, por lo tanto, se asume que el volumen de agua recuperada es el mismo que el agua gris a tratar, es decir, 1,96 m^3/día.
2. En el Decreto 40 que "Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises", que define la calidad de las aguas grises tratadas para los diferentes usos, se determina que las aguas grises tratadas no pueden estar almacenadas durante un periodo superior a las 48 horas. Por lo tanto, el volumen de agua máximo a guardar será de 3,92 m^3 aproximadamente.
3. Se debe dejar un 15% de volumen de seguridad.

Por lo tanto, se estima que el volumen del estanque debe ser de 4,5 m^3. Considerando las ofertas del mercado, se va a usar un estanque de almacenamiento de capacidad de 5.000 litros, tal como se muestra en el punto 5 del Anexo 6.

5.2.3.6 Balances de masa y energía

i. Balance de contaminantes

En este trabajo, se estimó bibliográficamente las concentraciones de los contaminantes del afluente, considerando que las aguas grises tienen características de aguas residuales diluidas. Además, para el cálculo del balance, se utilizarán los porcentajes de remoción de contaminantes para cada tecnología a utilizar.

En la Tabla 5.7 se resumen las concentraciones de aguas residuales diluidas.

Tabla 5.7: Parámetros típicos de aguas servidas de tipo diluida (Adaptado de Vidal y Hormazábal, 2018).

Contaminante	Concentración afluente (mg/L)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	190
DBO_5	150
DQO	320
Nitrógeno total (NT)	30
Fósforo total (FT)	6

Primero, se debe considerar que la concentración de sólidos y grasas de las aguas provenientes de las cámaras desgrasadoras no se pueden estimar, debido a que se desconoce la cantidad de caudal que provienen de estas. Por lo tanto, para la estimación de las concentraciones de contaminantes del resto de los equipos se consideraron las concentraciones iniciales ya mencionadas.

El filtro de malla va a remover con eficiencia los sólidos del agua que sean mayor a 80 micras. Si se asume un porcentaje de remoción del 60%, entonces la concentración de los sólidos suspendidos totales (SST) del efluente del filtro es de:

$$C_{SST} = 190\frac{mg}{L} * (1 - 0{,}6\ ) = 76\ mg/L$$

Para la estimación de las concentraciones de contaminantes del efluente del humedal vertical, se utilizan los porcentajes de remoción de la Tabla 5.3

$$C_{SST} = \ 76\frac{mg}{L} * (1 - 0{,}9)\ = 7{,}6\ mg/L$$

$$C_{DBO5} = \ 150\frac{mg}{L} * (1 - 0{,}9)\ = \ 15\ mg/L$$
$$C_{NT} = \ 30\frac{mg}{L} * (1 - 0{,}2)\ = \ 24\ mg/L$$
$$C_{FT} = \ 6\frac{mg}{L} * (1 - 0{,}2)\ = \ 4{,}8\ mg/L$$

Como en la tabla no se caracteriza el porcentaje de remoción de DQO, se va a estimar su valor con la relación para aguas domiciliarias de DBO_5/DQO, cuyo valor debe estar entre 0,4-0,8 (Metcalf y Eddy, 1996). Por lo tanto, si se utiliza la relación DQO=2*DBO_5, entonces la DQO es:

$$DQO = 15\frac{mg}{L} * 2 = 30\frac{mg}{L}$$

Respecto a la remoción de los contaminantes de la lámpara luz UV, no se tienen datos respecto a la concentración de patógenos en el afluente. Sin embargo, la luz UV es eficiente en la eliminación de los patógenos, alcanzando un valor de 99,9%.

La Tabla 5.8 resume los valores obtenidos anteriormente:

Tabla 5.8: Concentraciones de carga de contaminantes para el efluente del proceso.

Contaminante	**Concentración efluente (mg/L)**
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	7,6
DBO_5	15
DQO	30
Nitrógeno total (NT)	24
Fósforo total (FT)	4,8

En el Decreto 40, que "Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises", y que define la calidad de las aguas grises tratadas para los diferentes usos, determina que para el uso ornamental la concentración máxima de DBO_5 es de 70 mg/L y de sólidos suspendidos totales (SST) es de 70 mg/L. Por lo tanto, el sistema de tratamiento cumple con los límites establecidos en la normativa.

ii. Balance hídrico

Para un humedal artificial, el balance hídrico se expresa de la siguiente manera:

$$Cambio\ neto\ de\ almacenamiento\ = Qa - Qe + PP - ETP$$ Ecuación 5.7: Balance hídrico

Donde:

Q_a es el caudal del afluente
Q_e es el caudal del efluente
PP precipitaciones
ETP es la evapotranspiración

Primero, se estima el valor de la evapotranspiración. Para ello se va a emplear el método de Thornthwaite, el cual posee las siguientes ecuaciones:

$$ETP = 16 * \left(\frac{10T}{I}\right)^{a}$$ Ecuación 5.8: Método Thornthwaite

Donde:

ETP es la evapotranspiración [mm]
T es la temperatura media mensual (°C)
I es el índice de calor anual
a es una constante

El índice de calor anual (I), viene dado por la siguiente fórmula:

$$I = \sum_{1}^{12} i = \sum_{1}^{12} \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$ Ecuación 5.9: Índice de calor anual

Donde:

I es el índice de calor anual
i es el índice de calor mensual
T es la Temperatura media mensual [°C]

La constante "a", viene dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 5.10: Constante a.

$$a = 0{,}49\ +\ 0{,}01791 - 0{,}0000771\ *\ I^2\ +\ 0{,}000000675\ *\ I^3$$

Donde:

I es el índice de calor anual

Al cálculo de la evapotranspiración, se debe aplicar un coeficiente de corrección (F), el cual se determina con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

Ecuación 5.11: Coeficiente de Corrección (F)

Donde:

F es el coeficiente de corrección
N es el número máximo de horas de sol al día
d es el número de días al mes

Los datos de la temperatura promedio de cada mes serán proporcionados por Dirección Meteorológica de Chile, específicamente de la Estación Rodelillo, Ad. Estos datos se presentan como tabla en el Anexo 7.

Considerando lo anterior, la Tabla 5.9 presenta los resultados de la evapotranspiración mensual.

Tabla 5.9: Cálculo de Evapotranspiración mensual sin corregir.

Mes	Temperatura media mensual [°C]	Índice de calor mensual (i)	ETP Mensual [mm]
Enero	17,38	6,59	24,17
Febrero	17,28	6,54	24,12
Marzo	16,55	6,12	23,72
Abril	14,88	5,21	22,78
Mayo	12,73	4,12	21,47
Junio	11,62	3,58	20,74
Julio	10,84	3,23	20,20
Agosto	11,29	3,43	20,51
Septiembre	12,4	3,96	21,26
Octubre	13,47	4,48	21,94
Noviembre	14,95	5,25	22,82
Diciembre	16,65	6,18	23,78
Índice de calor anual (I)		58,70	
Constante a		0,38	

Los valores de ETP obtenidos se deben corregir en función del número de las horas de luz solar y de la duración de cada mes, esto considerando la ubicación en que se encuentra la estación meteorológica que otorga los datos. En la Tabla 5.10 se presenta el cálculo de la evapotranspiración mensual corregida.

Tabla 5.10: Cálculo de la evapotranspiración mensual corregida.

Mes	ETP Mensual [mm]	Días del mes (d)	N° Horas luz (N)	ETP Mensual Corregida [mm]
Enero	24,17	31	14,2836	29,72
Febrero	24,12	28	13,6608	25,62
Marzo	23,72	31	12,7714	26,09
Abril	22,78	30	11,7122	22,23
Mayo	21,47	31	10,7706	19,91
Junio	20,74	30	10,1006	17,45
Julio	20,20	31	10,0097	17,41
Agosto	20,51	31	10,5383	18,61
Septiembre	21,26	30	11,4417	20,26
Octubre	21,94	31	12,4411	23,50
Noviembre	22,82	30	13,4522	25,58
Diciembre	23,78	31	14,1764	29,02

Para el cálculo del balance hídrico, los valores de las Precipitaciones Mensuales se presentan en el Anexo 7. Por otra parte, los valores de Evapotranspiración (ETP) y de Precipitaciones (PP) están expresados en milímetros, los cuales son medidos dentro de un área de $1m^2$. Por lo tanto, para obtener el volumen (en m^3), la ETP y PP se deben transformar a metro y multiplicar por el área superficial del humedal (26,55 m^2). Además, se considera que el cambio neto en el almacenamiento es igual a cero, ya que se no se van a generar pérdidas ni acumulaciones por el funcionamiento del humedal vertical.

De esta manera, en la Tabla 5.11 se presenta el resultado del caudal del efluente (Q_e) que tendrá el humedal vertical, considerando las ETP y PP mensuales corregidas al área del humedal y que el caudal del afluente (Q_a) es de 1,960 m^3/día multiplicado por la cantidad de días de cada mes.

Tabla 5.11: Cálculo del caudal del efluente en el humedal para cada mes.

Mes	Días del mes	Q_a [m^3]	ETP [mm]	ETP humedal [m^3]	PP [mm]	PP humedal [m^3]	Q_e [m^3]
Enero	31	60,76	29,7272	0,789257	1,7022	0,045193	60,01
Febrero	28	54,88	25,6233	0,680299	1,71	0,045401	54,24
Marzo	31	60,76	26,0903	0,692697	6,38	0,169389	60,23
Abril	30	58,8	22,2374	0,590403	20,58	0,546399	58,75
Mayo	31	60,76	19,9146	0,528733	90,55	2,404103	62,63
Junio	30	58,8	17,4575	0,463497	138,66	3,681423	62,01
Julio	31	60,76	17,4112	0,462267	107,96	2,866338	63,16
Agosto	31	60,76	18,6162	0,494260	82,37	2,186924	62,45
Septiembre	30	58,8	20,2697	0,538161	34,71	0,921551	59,18
Octubre	31	60,76	23,5026	0,623994	14,8	0,392940	60,52
Noviembre	30	58,8	25,5866	0,679324	6,65	0,176558	58,29
Diciembre	31	60,76	29,0269	0,770664	2,92	0,077526	60,06

Por lo tanto, el efluente anual es de 721,53 m^3.

En caso de haber un evento de lluvia torrencial, se hace la suposición de que en un mes cae la cantidad de agua equivalente a un año de lluvia. Por lo tanto, se tiene que:

$$Q_{\ lluvia\ torrencial} = 509{,}942\frac{mm}{mes} * \frac{mes}{30\ días} = 16{,}9981\frac{mm}{día} = 0{,}016998\frac{m}{día}$$

Teniendo en cuenta que el sumidero de recolección del humedal tiene de largo 2 m, de ancho 1 m y de profundidad de 2 m, entonces:

$$A_{s\ sumidero} = 2\ m^2$$

$$Q_{\ lluvia\ torrencial} = 0{,}016998\frac{m}{día} * 2\ m^2 = 0{,}03399\frac{m^3}{día}$$

Si se sabe que el volumen del sumidero es de 4 m^3, que el agua tratada que sale del humedal ocupa un volumen aproximado de 1,960 m^3, y si a este valor se le suma el caudal de la lluvia torrencial se tiene un volumen de agua de 1,994 m^3. Por lo tanto, el sumidero es capaz de recolectar la totalidad del agua de la lluvia torrencial sin sufrir rebalses.

iii. Balance de energía

Bomba 1: Desde estanque de almacenamiento 1 hasta el humedal vertical

Se hace necesario disponer de una bomba para trasladar el agua desde el estanque de almacenamiento hasta el sistema de tuberías que se encuentra sobre el humedal. En la Figura 5.14, se muestra el diagrama para este sistema de bombeo.

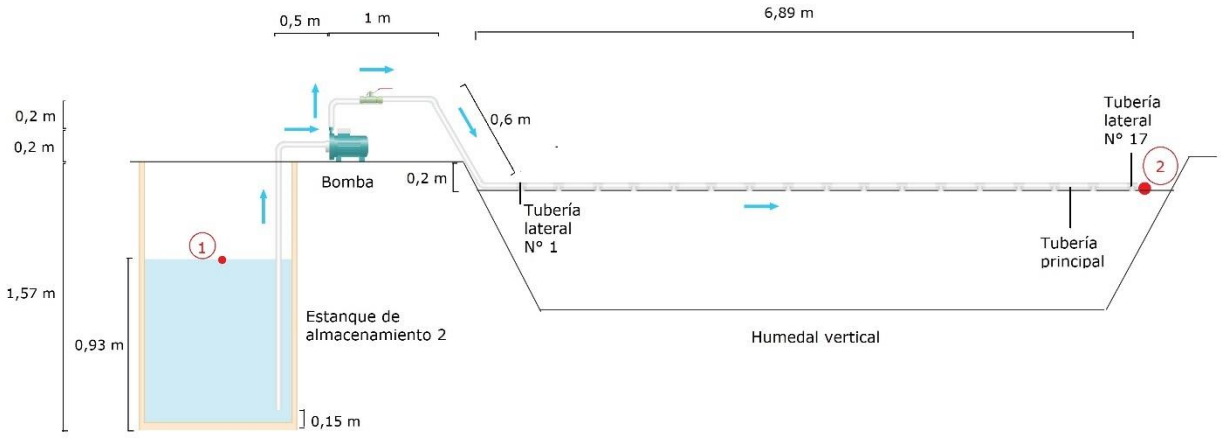


Figura 5.14: Diagrama del sistema de bombeo desde el estanque de almacenamiento 1 hasta el humedal vertical.

Se requiere calcular la potencia mínima requerida ($P_{mín}$) para la bomba, y para ello se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$P_{mín} = Q\ x\ \rho\ x\ g\ x\ H_B$$

Ecuación 5.12: Potencia mínima para la bomba

Donde

Q es el caudal [m^3/s]

ρ es la densidad del agua [1.000 kg/m^3]

g es la aceleración de gravedad [9,81 m/s^2]

H_B la altura útil de la bomba total [m], dada por la ecuación de Bernoulli con pérdida entre 2 secciones:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} + Z_2 - Z_1 - \frac{{V_2}^2 - {V_1}^2}{2 * g} + H_{fa} + H_{fi}$$

Ecuación 5.13: Ecuación de Bernoulli

Donde:

Z es altura del punto [m]

V es velocidad del fluido en el punto [m/s]

P es la presión en el punto [$kg/m * s^2$]

H_{fa} son las perdidas por aspiración [m]

H_{fi} son las pérdidas por impulsión [m]

El cálculo de las pérdidas de carga, se realiza con las siguientes ecuaciones:

- Pérdidas longitudinales (Hazen-Williams):

$$H_f = 10{,}648\left(\frac{1}{C_{Hw}}\right)^{1{,}852} * \frac{Q^{1{,}852}}{D^{4{,}871}} * L$$

Ecuación 5.14: Ecuación Hazen-Williams

Donde

C_{HW} coeficiente de Hazen Williams [adimensional]

Q es el caudal que circula en la tubería [m^3/s]

D es el diámetro interno de la tubería [m]

L es la longitud de la tubería [m]

- Pérdidas por accesorios:

$$Hf = \frac{K_L * V^2}{2 * g} = \frac{0{,}08263 * K_L * Q^2}{D^4}$$

Ecuación 5.15: Pérdidas por accesorios

Donde

K_L es el coeficiente de resistencia, que depende de los accesorios que se contemplan en el diseño [adimensional]
Q es el caudal [m^3/s]
D es el diámetro [m]
V es la velocidad del flujo [m/s]
g es la aceleración de gravedad [9,81 m/s^2]

- Pérdidas por tuberías de salidas múltiples:

Para calcular las pérdidas de carga por fricción en una tubería con múltiples salidas, se debe aplicar el factor de corrección de Christiansen (F), es decir:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

Ecuación 5.16: Factor de corrección de Christiansen

Donde
F es el factor de salidas múltiples de Christiansen.
N es el número de salidas.
m es el exponente del caudal (para Hazen-Williams es 1,852).

Y finalmente, la potencia requerida por la bomba (P) se calcula con:

$$P = \frac{P_{mín}}{n}$$

Ecuación 5.17: Potencia requerida

Donde

$P_{mín}$ es la potencia hidráulica de la bomba [W].
N es la eficiencia de la bomba [valor entre 0 y 1].

Para el cálculo de la potencia de la bomba, se va a considerar lo siguiente:

- La bomba por utilizar va a tener un funcionamiento intermitente, es decir, se encenderá y se apagará en un tiempo determinado. En este caso se activará 4 veces al día, moviendo un volumen de agua de 0,490 m^3 cada vez. Si se utiliza un caudal de 1,2 m^3/h, la bomba estará encendida 24,5 min y tendrá periodos de detención de 20 min.
- La eficiencia de la bomba es de 60%

- La tubería de aspiración y de impulsión será de PVC, con un diámetro de 1” (0,0254 m).
- Las tuberías laterales serán de tipo plansa, el material es polietileno y tienen un diámetro de 1” (0,0254 m).

Considerando la ecuación de Bernoulli:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} + Z_2 - Z_1 + \frac{{V_2}^2 - {V_1}^2}{2 * g} + H_{fa} + H_{fi}$$

se tiene que:

- P1 / $\rho * g$ = 0 ya que se encuentra bajo presión atmosférica.
- V1 ~ 0 ya que el agua del estanque se encuentra en reposo.
- Z1=0 ya que no hay altura en ese punto.

Simplificando la ecuación, se obtiene lo siguiente:

$$H_B = \frac{P_2}{\rho * g} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2 * g} + H_{fa} + H_{fi}$$

Primero, se van a calcular las pérdidas de carga por aspiración (H_{fa}). Y para ello se estimarán las pérdidas por tuberías y por accesorios.

Para las pérdidas por tuberías de la aspiración, se considera lo siguiente:

- El C_{hw} es de 150 para tuberías de PVC y PE.
- El caudal es de 0,000333 m^3/s.
- El diámetro de la tubería es de 0,0254 m.
- La longitud de la tubería =1,62 m + 0,5 m = 2,12 m

Por lo tanto, se tiene que:

$$H_{f-tuberías} = 10{,}648\left(\frac{1}{150}\right)^{1{,}852} * \frac{\left(0{,}000333\frac{m^3}{s}\right)^{1{,}852}}{(0{,}0254\ m)^{4{,}871}} * 2{,}12\ m = 0{,}045\ m$$

Para las pérdidas por accesorios, solo se considera un codo estándar de 90°, donde:

- K_L = 0,9
- Q= 0,000333 m^3/s.
- D=$0{,}0254\ m$

$$H_{f-accesorios} = \frac{0{,}08263 * 0{,}9 * (0{,}000333\frac{m^3}{s})^2}{(0{,}0254\ m\ )^4} = 0{,}020\ m$$

Finalmente, las pérdidas de aspiración son:

$$H_{fa} = H_{f-tuberias} + H_{f-accesorios} = 0{,}045\ m + 0{,}020\ m = 0{,}065\ m$$

Se van a estimar las pérdidas por impulsión (H_{fi}), esto incluye las pérdidas por las tuberías en general, por la tubería principal, por las tuberías laterales y por accesorios.

Para la pérdida de carga en las tuberías de impulsión, se tiene que:

- C_{hw} = 150 para tuberías de PVC y PE.
- Largo tubería = 0,2 m + 1 m + 0,6 m = 1,8 m
- Diámetro tubería = 0,0254 m
- Caudal salida de la bomba = 0,000333 m^3/s.

$$H_{f-tubería\ general} = 10{,}648\left(\frac{1}{150}\right)^{1{,}852} * \frac{\left(0{,}000333\frac{m^3}{s}\right)^{1{,}852}}{(0{,}0254\ \mathrm{m})^{4{,}871}} * 1{,}8\ \mathrm{m} = 0{,}038\ m$$

Para la pérdida de carga en la tubería principal, se tiene que:

- C_{hw} = 150 para tuberías de PVC y PE.
- Largo tubería principal= 6,89 m.
- Diámetro tubería principal= 0,0254 m.
- Caudal entrada de la tubería principal= 0,000333 m^3/s.

Se debe calcular el coeficiente de Christiansen (F):

$$F = \frac{1}{1{,}852 + 1} + \frac{1}{2 * 17} + \frac{\sqrt{1{,}852 - 1}}{6 * 17^2} = 0{,}381$$

El valor obtenido, se multiplica con la fórmula de pérdida de carga de Hazen-Williams:

$$H_{f-tubería\ principal} = 10{,}648\left(\frac{1}{150}\right)^{1{,}852} * \frac{\left(0{,}000333\frac{m^3}{s}\right)^{1{,}852}}{(0{,}0254\ \mathrm{m})^{4{,}871}} * 6{,}89\ \mathrm{m} * 0{,}381 = 0{,}056\ m$$

Para las pérdidas de carga en las tuberías laterales, se tiene lo siguiente:

- C_{hw} = 150 para tuberías de PVC y PE.
- Largo tubería lateral = 3,24 m
- Goteros por tubería lateral= 8
- Diámetro tubería lateral = 0,0254 m
- Caudal entrada tuberías laterales =0,000333 m^3/s / 17 tuberías = 1,959 $*10^{-5}$ m^3/s

Se calcula el coeficiente de Christiansen (F) para una sola tubería lateral:

$$F = \frac{1}{1{,}852 + 1} + \frac{1}{2 * 8} + \frac{\sqrt{1{,}852 - 1}}{6 * 8^2} = 0{,}415$$

El valor obtenido se multiplica con la fórmula de pérdida de carga de Hazen-Williams:

$$H_{f-1\ tubería\ lateral} = 10{,}648\left(\frac{1}{150}\right)^{1{,}852} * \frac{(1{,}959*10^{-5}\ m^3/s)^{1{,}852}}{(0{,}0254\ \text{m})^{4{,}871}} * 3{,}24\ \text{m} * 0{,}415 = 1{,}50 * 10^{-4}\ m$$

Entonces para las 17 tuberías laterales se tiene la siguiente pérdida de carga:

$$H_{f-\ tuberias\ laterales} = 1{,}50 * 10^{-4}\ m * 17 = 0{,}00255\ m$$

Para calcular las pérdidas de carga por cada accesorio, se utilizará la Tabla 5.12.

Tabla 5.12: Cálculo de las pérdidas de carga por accesorios en la impulsión, bomba 1.

Accesorio	**Cantidad accesorio**	**Constante K_L**	**Caudal Q $[m^3/s]$**	**Diámetro D [m]**	$\boldsymbol{Hf = \frac{0,08263 * K_L * Q^2}{D^4}}$ **[m]**
Codo 90°	1	0,9	0,0003333	0,0254	0,01981225
Válvula de bola	1	10	0,0003333	0,0254	0,22013614
Codo 45°	2	0,45	0,0003333	0,0254	0,01981225
Tee lateral 1	1	1,8	0,0003333	0,0254	0,03962451
Tee lateral 2	1	1,8	0,0003134	0,0254	0,03509727
Tee lateral 3	1	1,8	0,0002938	0,0254	0,03084459
Tee lateral 4	1	1,8	0,0002742	0,0254	0,02686645
Tee lateral 5	1	1,8	0,0002546	0,0254	0,02316286
Tee lateral 6	1	1,8	0,0002351	0,0254	0,01975062
Tee lateral 7	1	1,8	0,0002155	0,0254	0,01659472
Tee lateral 8	1	1,8	0,0001959	0,0254	0,01371337
Tee lateral 9	1	1,8	0,0001763	0,0254	0,01110657
Tee lateral 10	1	1,8	0,0001567	0,0254	0,00877432
Tee lateral 11	1	1,8	0,0001371	0,0254	0,00671661
Tee lateral 12	1	1,8	0,0001175	0,0254	0,00493345
Tee lateral 13	1	1,8	0,0000979	0,0254	0,00342484
Tee lateral 14	1	1,8	0,0000784	0,0254	0,00219638
Tee lateral 15	1	1,8	0,0000588	0,0254	0,00123546
Tee lateral 16	1	1,8	0,0000392	0,0254	0,00054910
Codo 90° (lateral 17)	1	0,9	0,0000196	0,0254	0,00006864
Hf total					**0,5044**

Finalmente, las pérdidas por impulsión (H_{fi}) son:

$$H_{fi} = H_{f-tuberia\ general} + H_{f-tuberia\ principal} + H_{f-tuberias\ laterales} + H_{f-accesorios} =$$
$$0{,}038\ m + 0{,}056\ m + 0{,}00255\ m + 0{,}5044\ m = 0{,}60\ m$$

Para el cálculo correspondiente, se necesita determinar la velocidad del flujo de agua a la salida de gotero más alejado de la bomba [V_2]. Considerando que el caudal que llega a los goteros es de 2,45 * 10^{-6} m^3/s (8,8 L/h), que se utilizarán goteros autoajustables de 0-70 L/h, con diámetro de 4 mm y que funcionan a una presión mínima de 15 PSI, se tiene lo siguiente:

$$V = \frac{Q_{\,salida}}{\acute{A}rea\ gotero} = \frac{2{,}45 * 10^{-6}\,\frac{m^3}{s}}{3{,}14 * (\frac{0{,}004}{2}\mathrm{m})^2} = 0{,}195\ m/s$$

La ecuación de Bernoulli queda de la siguiente manera:

$$H_B = \frac{103421{,}4\ \mathrm{kg}/m * s^2}{1.000\ \mathrm{kg}/m^3 * 9{,}81\ m/s^2} + 0{,}44\ m + \frac{(0{,}195\ \ m/s)^2}{2 * 9{,}81\ m/s^2} + 0{,}065\ m + \ 0{,}60\ m = 11{,}64\ m$$

La potencia de la bomba tiene un valor de:

$$P_{mín} = 0{,}000333\,\frac{m^3}{s} * \ 1.000\,\frac{\mathrm{kg}}{m^3} * 9{,}81\,\frac{m}{s^2} * \ 11{,}64\ m = 38{,}02\ W$$

Aplicando un factor de eficiencia para bombas del 60%:

$$P = \frac{38{,}02\ W}{0{,}6} = 63{,}36\ W = 0{,}085\ HP$$

Por lo tanto, para llevar las aguas desde el interior del estanque de almacenamiento hasta la parte superior del humedal, se requiere de una bomba con una potencia mínima de 0,085 HP.

Bomba 2: Humedal Vertical hacia el estanque de almacenamiento 2

Se necesita disponer de una bomba para trasladar el agua desde el sumidero de recogida hasta el estanque de almacenamiento 2, pasando el agua a través de la lámpara de luz UV. En la figura 5.15 se muestra el diagrama del sistema de bombeo.

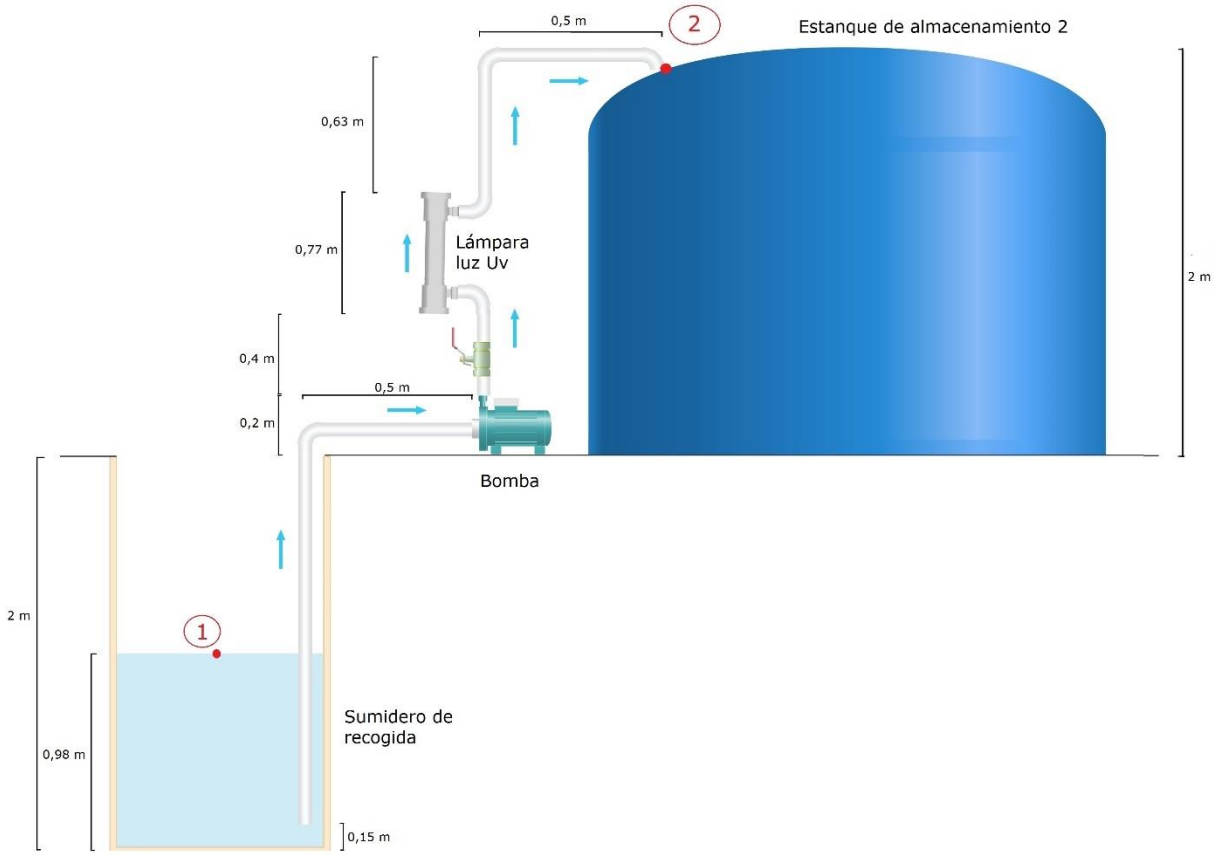


Figura 5.15: Diagrama sistema de bombeo desde sumidero de recogida hasta el estanque de almacenamiento 2.

Para la estimación de la potencia de la bomba, se consideran los siguientes datos:

- La lámpara de luz UV utiliza tuberías de diámetro de 1/2" (0,0127 m).
- La eficiencia de la bomba es de 60%.
- La tubería de aspiración y de impulsión serán de PVC, con un diámetro de 1" (0,0254 m).
- Se va a utilizar un caudal de trabajo de 1,2 m^3/h (0,0003 m^3/s).

De la ecuación de Bernoulli:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} + Z_2 - Z_1 + \frac{{V_2}^2 - {V_1}^2}{2 * g} + H_{fa} + H_{fi}$$

Se tiene lo siguiente:

- $P_1/\rho * g$ = 0 y $P_2/\rho * g$ = 0 ya que ambos puntos se encuentran bajo la presión atmosférica.
- V_1 ~ 0 ya que el agua del estanque se encuentra en reposo.
- Z_1=0 ya que no hay altura en ese punto, es el punto de referencia.
- Z_2 es 1,02 m + 2 m = 3,02 m

Entonces, simplificando la ecuación de Bernoulli, queda lo siguiente:

$$H_B = Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2 * g} + H_{fa} + H_{fi}$$

Primero, se calcula el valor de la velocidad en el punto 2 (V_2):

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{4 * Q}{3{,}14 * D^2} = \frac{4 * 0{,}0003 \frac{m^3}{s}}{3{,}14 * (0{,}0254\ m)^2} = 0{,}592\ m/s$$

Para el cálculo de pérdidas de carga por fricción, primero se va a calcular las pérdidas por impulsión (H_{fi}). Para ello se consideran los siguientes datos:

- C_{hw} = 150 para tuberías de PVC y PE.
- Largo tubería = 0,4 m + 0,63 m + 0,5 m = 1,53 m
- Diámetro tubería = 0,0254 m
- Caudal salida de la bomba= $0{,}0003 \frac{m^3}{s}$

$$H_{f-tuberias\ impulsión} = 10{,}648 \left(\frac{1}{150}\right)^{1{,}852} * \frac{\left(0{,}0003 \frac{m^3}{s}\right)^{1{,}852}}{(0{,}0254\ \text{m})^{4{,}871}} * 1{,}53\ \text{m} = 0{,}0267\ m$$

Para calcular las pérdidas de carga por cada accesorio, se asume que las pérdidas por la lámpara de luz UV es la misma pérdida que una válvula de retención, por lo tanto, se tienen los siguientes datos:

Tabla 5.13: Pérdida de carga de impulsión por accesorio, bomba 2.

Accesorio	**Cantidad accesorio**	**Constante K_L**	**Q [m^3/s]**	**D [m]**	$\boldsymbol{Hf = \frac{0{,}08263 * K_L * Q^2}{D^4}\ [m]}$
Codo 90°	4	0,9	0,0003	0,0254	0,064
Válvula de bola	1	10	0,0003	0,0254	0,178
Válvula de retención	1	2	0,0003	0,0127	0,571
Hf total					**0,813**

Finalmente, las pérdidas por impulsión (H_{fi}) son:

$$H_{fi} = H_{f-tuberías\ impulsión} + H_{f-accesorios} = 0{,}0267\ m + 0{,}813\ m = 0{,}8397\ m$$

Para el cálculo de pérdidas de carga por aspiración (H_{fa}), primero se calcula las pérdidas por tuberías, por lo tanto, se considera lo siguiente:

- El C_{hw} es de 150 para tuberías de PVC y PE.
- Diámetro tubería = 0,0254m
- Caudal de entrada de la bomba= $0{,}0003 \frac{m^3}{s}$
- La longitud de la tubería es 1,85 m + 0,5 m = 2,35 m

Por lo tanto, se tiene que:

$$H_{f-tuberías} = 10{,}648\left(\frac{1}{150}\right)^{1{,}852} * \frac{\left(0{,}0003\,\frac{m^3}{s}\right)^{1{,}852}}{(0{,}0254\,m)^{4{,}871}} * 2{,}35\,m = 0{,}041\,m$$

Para las pérdidas por accesorios, solo se considera un codo estándar de 90°, donde:

- $K_L = 0{,}9$

$$H_{f-accesorios} = \frac{0{,}08263 * K_L * Q^2}{D^4} = \frac{0{,}08263 * 0{,}9 * (0{,}0003\,\frac{m^3}{s})^{\,2}}{(0{,}0254\,m)^4} = 0{,}016\,m$$

Finalmente, las pérdidas de aspiración son:

$$H_{fa} = H_{f-tuberias} + H_{f-accesorios} = 0{,}041\,m + 0{,}016\,m = 0{,}057\,m$$

La ecuación de Bernoulli queda de la siguiente manera:

$$H_B = 3{,}02\ \text{m} + \frac{(0{,}592\ m/s)^2}{2 * 9{,}81\ m/s^2} + 0{,}057\,m + 0{,}8397\,m = 3{,}934\,m$$

La potencia de la bomba queda de la siguiente manera:

$$P_{mín} = 0{,}0003\,\frac{m^3}{s} * 1.000\,\frac{\text{kg}}{m^3} * 9{,}81\,\frac{m}{s^2} * 3{,}934\,m = 11{,}57W$$

Aplicando un factor de eficiencia para bombas del 60%:

$$P = \frac{11{,}57W}{0{,}6} = 19{,}28\,W = 0{,}02\,HP$$

Por lo tanto, para llevar las aguas desde el sumidero de recogida hasta el estanque de almacenamiento 2, se requiere de una bomba con una potencia mínima de 0,02 HP.

5.2.4 Contraste entre el volumen de aguas tratadas y los requerimientos hídricos de los árboles

Para determinar el requerimiento hídrico de los árboles, se emplearon los datos de evapotranspiración proporcionados por Agrometeorología para la estación meteorológica más cercana a la comuna de Villa Alemana, siendo esta la del Aeródromo Torquemada.

Según los registros del 2023, el valor de evapotranspiración de referencia (ETo) es de 934,17 mm/año, equivalente a 77,85 mm/mes. Y, dado que el coeficiente de cultivo referencial (Kc) es de 0,4 para árboles de bajo requerimiento hídrico, la evapotranspiración de cultivo (ETc) se calcula como:

$$ETc = ETo * Kc = 77{,}85 \frac{mm}{mes} * 0{,}4 = 31{,}14\ mm/m^2/mes$$

Considerando que el área de la faja arborizada tiene un valor de 730 m^2 (según el proyecto del centro de compostaje), el volumen de agua necesario para regar los árboles se estima como:

$$Agua\ necesaria\ para\ regar = 31{,}14\ mm/m^2/mes * 730\ m^2 = 22{,}73\ m^3/mes$$

Contrastando el agua tratada potencialmente disponible de 58,8 m^3/mes con el agua necesaria para regar de 22,73 m^3/mes, se determina que el agua tratada es suficiente para cubrir el requerimiento hídrico de la faja arborizada.

Por otra parte, se evaluará las necesidades hídricas en los extremos estacionales, considerando los valores de ETo en invierno (junio, julio y agosto) y en verano (enero y febrero). Para el invierno se tiene los valores de 31,17 mm/mes, 40,78 mm/mes y 56,82 mm/mes, con un promedio de 42,92 mm/mes. Por lo tanto, el agua necesaria para regar en invierno se estima como:

$$ETc = 42{,}92\ mm/mes * 0{,}4 = 17{,}17\ mm/m^2/mes$$

$$Agua\ necesaria\ para\ regar\ invierno = 17{,}17\ mm/m^2/mes * 730\ m^2 = 12{,}53\ m^3/mes$$

Para el verano se tiene valores de 141,18 mm/mes y 73,51 mm/mes, dando un valor promedio de 107,35 mm/mes. Por lo tanto, el agua necesaria para regar en verano se estima como:

$$ETc = 107{,}35\ mm/mes * 0{,}4 = 42{,}94\ mm/m^2/mes$$

$$Agua\ necesaria\ para\ regar\ verano = 42{,}94\ mm/m^2/mes * 730\ m^2 = 31{,}35\ m^3/mes$$

Por lo tanto, si se tiene que el agua tratada potencialmente disponible es de 58,8 m^3/mes y el agua necesaria para regar en invierno es de 12,53 m^3/mes y en verano es de 31,35 m^3/mes, se determina que el agua tratada es suficiente para cubrir las necesidades hídricas de los árboles en los meses más extremos.

5.2.5 Disposición final de los residuos que se van a generar en el proceso

Respecto a la disposición final de los residuos que se van a generar durante la operación del sistema de tratamiento, se van a identificar los principales:

- Los sólidos retirados del filtro de malla se componen principalmente de restos de comida, pelos, tierra, hojas, entre otros. Por lo tanto, estas se van a desechar junto con los residuos domiciliarios.
- La maleza y otras plantas que se retirarán del humedal, se pueden compostar dentro del mismo recinto, ya que el proyecto corresponde a un centro de compostaje.

5.2.6 Sugerencias de Mantención

En la Tabla 5.14 se muestran las actividades que se deben realizar para el mantenimiento de los equipos del sistema de tratamiento propuesto y la frecuencia en que deben realizar dichas actividades. Estos parámetros se pueden modificar una vez que el sistema se haya instalado y se encuentre en operación.

Tabla 5.14: Mantenimiento de los equipos del sistema de tratamiento propuesto.

Equipo	**Actividad**	**Frecuencia de aplicación**
Filtro de malla	Retirar los residuos que se acumulen en la malla y lavar la malla	Mensual o cuando baje el caudal significativamente.
	Revisión del estado de la malla (cambiar si se rompe).	Cada vez que se retiren los residuos.
Humedal Vertical	Cambiar material del lecho filtrante	8 a 15 años
	Eliminar plantas muertas, y las hierbas que puedan competir con la vegetación plantada.	Mensual
Lámpara Luz UV	Revisión intensidad de la luz y limpiar tubo de cuarzo	Cada 3 meses
	Reemplazar equipo	Cuando acabe su vida útil (5.000 horas)
Estanques de almacenamiento	Revisión de posibles fugas de agua o grietas.	Cada 3 meses
	Revisión del interior y limpieza del interior en caso de ser necesario	Anual
Bombas	Revisión lubricación de las piezas móviles.	Cada 3 meses
	Revisión de la presión del agua, podría necesitar mantención del equipo o reemplazo.	Cada 3 meses
Tuberías	Limpieza manual del interior, para evitar obstrucciones.	Anual
	Revisión y reparación de fugas en las conexiones y juntas.	Mensualmente
Goteros	Limpieza manual	Cuando haya obstrucción del gotero
	Reemplazo	Cuando se rompa

5.3 Evaluar económicamente el sistema de tratamiento propuesto

5.3.1 Cuantificación de los egresos

Los costos relacionados a la propuesta de tratamiento de aguas grises, se dividen en costos de inversión y costos de operación. Dentro de los costos de operación, se encuentran los costos fijos y los costos variables.

5.3.1.1 Costos de inversión

Los costos por inversión corresponden a los equipos y a los materiales de la infraestructura a utilizar. Se calculó cuanto es el valor unitario de cada uno de los equipos y materiales, considerando la cantidad a comprar para cada uno. Luego se le agregó el costo por envío hacia la comuna de Villa Alemana, tomando en consideración los valores otorgados por los proveedores en sus páginas web. En los Anexos 6 y 8 se presentan las imágenes de las cotizaciones realizadas para obtener los valores unitarios y sus envíos.

En la Tabla 5.15 se muestran los costos asociados a los equipos que se van a utilizar en el sistema de tratamiento y en la Tabla 5.16 se muestran los costos asociados a los materiales que se utilizará en la infraestructura.

Tabla 5.15: Costos de equipos.

Equipo	Resultado estimado	Cantidad	Valor unitario [$]	Valor por envío [S]	Total [$]
Filtro de malla lavable	Diámetro 1”	1	27.990	6.990	34.980
Estanque de almacenamiento 2.400 L	Estanque para enterrar de 2.250 L	1	445.941	-	445.941
Bomba centrífuga 0,33 HP	0,085 HP y 0,02 HP	2	229.990	-	459.980
Lámpara luz UV 6 GPM	6 GPM, ½”, 25W	1	129.990	6.900	136.890
Estanque de almacenamiento 5.000 L	Estanque de 4.500 L	1	939.490	23.981	963.471
TOTAL EQUIPOS [$]					**2.041.262**

Tabla 5.16: Costo de los materiales de la infraestructura.

Material	Resultado estimado	Cantidad	Valor unitario [$]	Valor por envío [$]	Total [$]
Sistema de distribución					
Plansas 1” 100 m	55,08 m	1	55.990	70.870	126.860
Pack Goteros 0-70 L/h. 100 un	136 un	2	4.990	4.990	14.970
Tee PVC Cem 25 mm	16	16	250	-	4.000
Codo 90° PVC-Cem 25 mm	3	3	200	-	600
Codo 45° PVC- Cem 25 mm	2	2	790	-	1.580
Tubo PVC 25 mm x 6m	10,81 m	2	4.090	620	8.800
Válvula de bola PVC 25 mm	1	1	3.990	-	3.990
Sistema de recolección y aireación					
Tubo PVC gris 75 mm x 3 m	3 m	1	7.290	3.495	10.785
Tubo PVC gris 110 mm x 6m	24,6 m	5	13.990	3.495	73.445
Codo 45 ° PVC 110 mm gris	3	3	1.790	-	5.370
Reducción PVC Cem 110 x75 mm	3	3	2.790	-	8.370
Codo 90° 110 mm PVC sanitario gris	2	2	4.390	-	8.780
Tee PVC 110 x110mm	1	1	2.680	-	2.680
Sistema de tuberías bomba 2					
Tubo PVC 25 mm x 6m	4,08 m	1	4.090	620	4.710
Válvula de bola PVC 25 mm	1	1	3.990	-	3.990
Codo 90° PVC-Cem 25 mm	3	3	200	-	600
Codo 90° PVC Cem/HI 25mm x 3/4”	2	2	1.040	-	2.080
Buje reducción PVC HE-HI ¾ x ½”	2	2	590	2.990	4.170
Medio Granular					
Relleno de gravilla 4-10 mm	10,61 m^3	11	28.000	-	308.000
Relleno arena gruesa 1-4 mm	2,65 m^3	3	31.000	-	93.000
Relleno grava media 20-60 mm	5,3 m^3	6	22.000	-	132.000
Impermeabilización					
Manga Polietileno Negro 500 micron 80 m^2	72,06 m^2	1	145.500	182.300	327.800
Geotextil 140 gr/m^2 – Rollo 10 m^2	72,06 m^2	8	15.490	0	123.920
Vegetación					
Planta- *Schoenoplectus californicus*	106	106	3.000	20.000	338.000
Otros					
Adhesivo Tradicional PVC 240 cc.	1	1	3.690	-	3.690
Timer digital enchufable	2	2	14.890	-	29.780
TOTAL MATERIALES [$]					**1.638.980**

Los costos por envío que no tienen precio, solo se encuentran disponibles como retiro en la tienda. Por otro lado, los costos de envío de las plantas son estimados vía Starken, pero se puede hacer retiro en el vivero, comuna de Quillota (Tienda de Instagram: Crazyplantss).

Para compensar las variaciones de los precios a través de los años, se trabajarán los valores en la unidad monetaria UF correspondiente a la fecha 05 de noviembre del 2024, la cual indica que 37.977,55 pesos chileno es equivalente a 1 UF. Por lo tanto, la inversión inicial es de $3.680.242 pesos chilenos equivalente a **96,91 UF.**

5.3.1.2 Costos de Operación

- Costos Variables

Los costos variables son los asociados al consumo energético de los equipos, en este caso serían de las bombas y de la lámpara de luz UV. Para estimar el gasto energético anual, primero se debe saber cuánto es el tiempo que funcionan durante el año.

La **bomba 1** corresponde a una bomba centrífuga de potencia de 0,25 kW. Esta tiene un funcionamiento intermitente, funcionando 4 veces al día, moviendo 0,490 m^3 cada vez. Utilizando un caudal de 1,2 m^3/h, se estimó anteriormente que la bomba estará encendida 24,5 min cada vez. Además, se va a considerar que solo funcionará 5 días a la semana ya que es el tiempo en que los trabajadores se encuentran en el lugar y van a generar aguas grises. Por lo tanto, el tiempo de funcionamiento en un año es de:

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = 24{,}5\ \frac{min}{vez} * 4\frac{veces}{día} * 5\frac{días}{semana} * 52\frac{semanas}{año}$$

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = 25.480\frac{mín}{año} = 424{,}6\frac{h}{año}$$

Entonces, el gasto energético de la bomba 1 es:

$$Gasto\ energético\ =\ Potencia * Tiempo\ de\ funcionamiento$$

$$Gasto\ energético\ =\ 0{,}25\ kW * 424{,}6\frac{h}{año} = 106{,}15\frac{kWh}{año}$$

La **bomba 2** es el mismo tipo de bomba que la anterior. Una bomba centrífuga de potencia de 0,25 kW, pero en este caso tiene un funcionamiento continuo hasta que se acabe el caudal a trabajar. Si se va a trabajar con un caudal de 1,2 m^3/h y se necesita mover 1,960 m^3. Entonces el tiempo que se mantiene encendida durante el día es de:

$$Tiempo\ de\ funcionamiento\ =\ \frac{1{,}960\ m^3}{1{,}2\frac{m^3}{h}}\ =\ 1{,}63\ h$$

Considerando un funcionamiento de 5 días a la semana, se tiene el tiempo de funcionamiento en un periodo de un año:

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = 1{,}63\ \frac{h}{día} * 5\frac{días}{semana} * 52\frac{semanas}{año} = 423{,}8\frac{h}{año}$$

Por lo tanto, el gasto energético de la bomba 2 es:

$$Gasto\ energético\ =\ Potencia * Tiempo\ de\ funcionamiento$$

$$Gasto\ energético\ =\ 0{,}25\ kW * 423{,}8\frac{h}{año} = 105{,}95\frac{kWh}{año}$$

La **lámpara de luz UV**, va a tener el mismo tiempo de funcionamiento que la bomba 2, ya que funcionan de manera simultánea, por lo tanto, va a tener un tiempo de funcionamiento de 423,8 h/año.

El gasto energético para la lámpara de luz UV es de:

$$Gasto\ energético\ =\ Potencia * Tiempo\ de\ funcionamiento$$

$$Gasto\ energético\ =\ 0{,}025\ kW * 423{,}8\frac{h}{año} = 10{,}60\ \frac{kWh}{año}$$

Respecto a la conexión eléctrica del proyecto del "Centro de Compostaje Villa Alemana", se determinó que se utilizará la red existente del lugar, la cual corresponde a una línea de media tensión de propiedad municipal. Considerando lo anterior, en la Tabla 5.17 se presentan las tarifas eléctricas aplicadas a partir del 01 de noviembre del 2024, según Chilquinta, empresa a cargo de la distribución de la energía.

Tabla 5.17: Tarifas de electricidad para Villa Alemana (Chilquinta, 2024).

Tarifa BT2	**Cargo**	**Unidad**	**Precio [$]**	**Total [$]**
Administración del servicio	Cargo fijo mensual	$/mes	1.157,08	1.157,08
Transporte de electricidad	Cargo por uso de sistema de transmisión	$/kWh	25,140	157,037
	Cargo por servicio público base	$/kWh	0,759	
	Cargo por energía	$/kWh	131,138	

En la Tabla 5.18 se muestra el gasto energético anual por las bombas y la lámpara de luz UV.

Tabla 5.18: Costo energético anual.

Equipo	**Gasto Energético Anual [kWh/año]**	**Valor kWh [$]**	**Total por gasto energético [S]**
Bomba 1	106,15	157,037	16.669,48
Bomba 2	105,95	157,037	16.638,07
Lámpara luz UV	10,60	157,037	1.664,59
Cargo fijo anual [$]			13.884,96
TOTAL COSTO ENERGÉTICO ANUAL			**48.857**

Finalmente, se estima que el costo variable total es de $48.857 pesos chilenos o **1,29 UF.**

- Costos fijos

Por otra parte, los costos fijos de esta propuesta serán el salario del funcionario que estará a cargo de la mantención y los costos de los elementos de protección personal.

Para estimar el **sueldo del personal de mantenimiento**, se revisó los valores existentes en el mercado laboral para un Técnico en mantenimiento. Según la plataforma Chiletrabajos.cl, el sueldo para este cargo tiene en promedio un valor de $737.490 pesos chilenos mensuales, dando un total de **$7.374.900** al año.

Para los elementos de protección personal, se realizó una cotización para cada uno de ellos, mencionando su valor unitario y sus costos por envío a Villa Alemana. En el Anexo 8 se muestran imágenes de los productos de referencia y en la Tabla 5.19 se muestran los costos asociados a estos elementos.

Tabla 5.19: Costos de elementos de protección personal.

Elemento	**Cantidad**	**Valor unitario [$]**	**Total [$]**
Guantes	2	4.990	9.980
Zapato de seguridad	1	44.290	44.290
Overol	1	10.290	10.290
Costo de envío			4.990
TOTAL ELEMENTOS DE PROTECCIÓN [$]			**69.550**

Estas compras se realizarán 1 vez al año, por lo tanto, los costos fijos en total tendrán un valor anual de $7.444.450 o **196,02 UF.**

5.3.2 Cuantificación de los ingresos

Estos se cuantifican respecto al ahorro de agua industrial que se va a generar al implementar el sistema de tratamiento.

Para estimar el costo del agua se tomaron valores referenciales desde mercado público respecto a cuanto cobran los camiones aljibes. Al no encontrar valores respecto al agua industrial, se tomará como referencia los valores de agua potable abastecidos por un camión aljibe.

Se tomó como referencia la licitación denominada “Agua potable por aljibe para la provincia de Petorca”, el valor del m^3 de agua potable es de $1.500. Por lo tanto, si con la implementación del sistema de tratamiento propuesto se ahorran en promedio 22,73 m^3/mes, se tiene un ahorro (ingreso) de:

$$Ingresos = 22{,}73\,\frac{m^3}{mes} * \ 1.500\,\frac{\$}{m^3} = \ 34.095\ \frac{\$}{mes}$$

Tomando en cuenta este valor, se estima que los ingresos anuales serán de:

$$Ingreso\ Anual = 34.095\ \frac{\$}{mes}\ *\ 12\,\frac{meses}{año} = 409.140\ \frac{\$}{año}$$

Por lo tanto, se tiene un ingreso anual de $409.140 pesos chilenos, equivalente a **10,77 UF.**

5.3.3 Flujo de Caja y Análisis de la Rentabilidad

Tomando en consideración los costos y los ingresos calculados anteriormente, se realizará el flujo de caja y se determinará el indicador VAN.

5.3.3.1 Flujo de Caja

Para determinar cómo varía la inversión a través de los años, se consideró la vida útil de los equipos, ya que se debe volver a invertir en ellos al terminar su vida útil. Para determinar este tiempo, se tomó en cuenta los valores otorgados por el Servicio de Impuestos Interno (SII). Para una bomba elevadora de agua se tiene una vida útil de 20 años y para un estanque se tiene 10 años. Respecto a la lámpara de luz UV el fabricante determinó que tiene una vida útil de 9.000 horas, pero esta solo va a funcionar un total de 8.476 horas en los 20 años, por lo tanto, no se debe volver a comprar. También, se considera que la lámpara de luz UV puede tener una menor eficiencia que las 9.000 horas, por lo tanto, no se calculó su valor de desecho. Por otra parte, el repuesto del filtro de malla se cambiará 1 vez al año, adicionando un valor de 0,92 UF a los costos fijos.

En las Tablas 5.20 y 5.21 se muestra el flujo de caja, el cual incluye los costos y los ingresos para esta propuesta. Además, al ser un proyecto de tipo municipal no se va a considerar la depreciación en los cálculos, ya que la municipalidad no paga impuestos.

Tabla 5.20: Flujo de caja, para los periodos entre 0 y 10 años.

ITEM	**Periodo (Años)**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Ingresos		10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77
(-) Costos variables		1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
(-) Costos fijos		196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94
Inversión	-96,91										-37,11
Total Neto	-96,91	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-224,6

Tabla 5.21: Continuación del flujo de caja, para los periodos entre 11 y 20 años.

ITEM	Periodo (Años)									
	11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Ingresos	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77	10,77
(-) Costos variables	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
(-) Costos fijos	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94	196,94
Inversión										0
Total Neto	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5	-187,5

5.3.3.2 Cálculo del VAN

Para evaluar la viabilidad del proyecto, se utilizó el indicador del Valor Actual Neto (VAN). Para ello se utilizó el valor de la Tasa Social de Descuento del año 2024, correspondiente a 5,5%, ya que corresponde a un proyecto de tipo social.

Por lo tanto, tomando los valores totales netos del flujo de caja y la tasa social de descuento, se llegó al resultado de que el VAN tiene un valor de **-117,06 UF**. Al tener un valor negativo, indica que los beneficios generados no cubren la inversión.

6. Discusión

El presente trabajo de título propone un sistema de tratamiento para las aguas grises que se van a generar en la operación del proyecto "Centro de compostaje Villa Alemana", con la finalidad de reutilizar estas aguas en el riego de las áreas verdes del recinto.

El sistema propuesto comprende un filtro de malla, un humedal vertical, desinfección con luz ultravioleta (UV) y estanques de almacenamiento, combinación que muestra una gran efectividad en la remoción de los contaminantes como SST, DBO_5, DQO, NT, FT y diferentes patógenos. En el efluente del sistema de tratamiento propuesto se obtuvieron los siguientes valores: DBO_5 de 15 mg/L, DQO de 30 mg/L, NT de 24 mg/L y FT de 4,8 mg/L. Respecto a los porcentajes de remoción de los humedales, el vertical tiene un 90% para los SST, un 90% para la DBO_5, un 20% de NT y 20% de FT; y, por otra parte, los horizontales tienen un DQO de 86%, NT del 92% y de PT del 89% (Colmedo, 2021). De esto se destaca que la remoción de Nitrógeno y Fósforo totales es mucho más alta en el humedal horizontal que el vertical, esto considerando que se está comparando aguas servidas contra aguas grises.

En comparación con sistemas tradicionales de tratamiento, esta propuesta tiene una ventaja al requerir un mantenimiento menor, dado que el humedal no produce lodos residuales y se integra estéticamente al entorno del compostaje. Sin embargo, presenta limitaciones, como el espacio necesario para la instalación del humedal y la sensibilidad del sistema UV a las características de turbidez del agua. Es importante señalar que, aunque la tecnología UV evita la producción de residuos peligrosos, su eficiencia depende de la claridad del agua, lo que sugiere que un pretratamiento adecuado es crucial para garantizar una desinfección completa.

Respecto al caudal diario calculado, se realizó una sobreestimación al asumir la cantidad máxima de trabajadores y de visitas estipuladas en el proyecto, sin considerar lo que se generaría en las noches por los guardias del lugar. Además, se determinó que este caudal se produciría únicamente de lunes a viernes. Se debe destacar que el proyecto aún no se encuentra en la fase de construcción, por lo tanto, todos los valores que se calcularon se basan en referencias bibliográficas y de la información obtenida en la página del SEIA del proyecto.

En cuanto a la cantidad de espacio disponible para el sistema de tratamiento puede no reflejar con precisión la realidad, ya que solo se compararon las dimensiones del humedal y no del sistema completo. De todos modos, la superficie calculada para el humedal vertical es significativamente menor a la estimada como disponible. También, los equipos no necesariamente deben estar dispuestos en una configuración lineal, permitiendo flexibilidad en su disposición según el espacio disponible. Es importante considerar que el sistema debe estar cercano a las tuberías de las aguas negras, para facilitar la ecuación de las aguas del sistema.

La construcción del sumidero no se encuentra contabilizado en la parte económica ni diseñado estructuralmente, ya que se necesita de conocimiento de construcción para otorgar una estructura firme, solo se estimaron sus dimensiones.

Las plantas que se van a utilizar pueden tener una baja en su número de ejemplares, ya que los primeros meses la planta se debe adaptar a las nuevas condiciones que le otorga el humedal. Por lo tanto, es posible que se deba realizar una nueva compra para reponer estas especies según lo necesitado en ese momento. De todos modos, existe la alternativa de cultivar la especie en las instalaciones de la municipalidad, antes de la construcción del humedal, para disminuir los gastos por la compra de estos.

En cuanto al almacenamiento del agua, el Decreto 40 estipula que las aguas grises no deben almacenarse por más de 48 horas. Esto implica que existirán pérdidas de aguas tratadas, especialmente durante los fines de semana cuando no se generen aguas grises y no haya trabajadores para regar. Se recomienda ajustar los tiempos de bombeo para que se puedan aprovechar al máximo las aguas tratadas durante los fines de semana.

Respecto a las bombas, no se puedo encontrar en el mercado una bomba con una potencia tan baja que sirviera para ambos casos. Por ende, se seleccionó una bomba centrífuga de 0,3 HP, ya que era la opción con la potencia más cercana. Para evitar que el sistema de bombeo colapse por la presión de la bomba, se pueden agregar válvulas después de la bomba para regular el flujo de agua y mantener la presión estable. Además, según lo que establezca el fabricante, se puede elevar el estanque de almacenamiento 2 para disminuir la presión del sistema, lo que a su vez genera que el sistema de riego se pueda realizar usando la fuerza de gravedad. Por otra parte, se pueden hacer ajustes en el caudal de trabajo para reducir tiempos de bombeo, provocando una reducción en los costos por energía eléctrica de la bomba.

Se determinó que las aguas tratadas son suficientes para cubrir la necesidad de agua de los árboles, sin embargo, el 61,3% del agua tratada no es aprovechada en el riego. Por esta razón, se sugiere que el agua que no se va a utilizar para riego, se recircule hacia los estanques de los WC de los baños, provocando una disminución en los costos por compra de agua potable. Otra opción es llevar estas aguas directamente hacia la fosa séptica para aumentar la dilución de los residuos que se acumulan en ese equipo. Realizar esta desviación podría disminuir los costos de mantención, ya que, a al haber menos agua en la fosa séptica se acelera la acumulación de lodos y sólidos, generando que la empresa externa encargada de la limpieza tenga que limpiar con una mayor frecuencia, lo que resultaría en un aumento de los costos.

Desde la perspectiva económica, el análisis mediante VAN arroja resultados negativos, indicando que el sistema no generará beneficios económicos inmediatos. Sin embargo, se va a reducir un 38,7% en el consumo de agua industrial, cumpliendo las normativas sanitarias, y se generará una contribución significativa a la sostenibilidad ambiental local. Existen diversas maneras para optimizar los costos, como por ejemplo se puede cultivar las plantas necesarias para el humedal. También se puede integrar un personal municipal existente para el mantenimiento o también se puede pagar por cada visita que

pueda hacer el personal de mantención. Otra forma de disminuir costos es evaluar el estado de los elementos de protección personal existentes antes de realizar nuevas compras, permitiendo reutilizar aquellos que aún se encuentren en buenas condiciones.

Finalmente, aunque el sistema propuesto presenta desafíos económicos iniciales, su implementación se justifica plenamente por los significativos beneficios ambientales y sociales que aporta. El proyecto contribuye de manera sustancial a la gestión sostenible de recursos hídricos y al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad ambiental a largo plazo, estableciendo un precedente importante para futuras iniciativas similares en la región.

7. Conclusiones

La reutilización de las aguas grises se presenta como una oportunidad para abordar de manera sostenible la gestión del recurso hídrico. Y con la finalidad de analizar esta alternativa se desarrolló una propuesta de tratamiento de aguas grises en el Centro de Compostaje de Villa Alemana, tomando en cuenta las características del proyecto, los aspectos técnicos necesarios para el diseño del sistema y su factibilidad económica.

En cuanto a las características del proyecto "Centro de compostaje Villa Alemana", se destaca que el abastecimiento de agua potable será mediante camiones aljibes pertenecientes a la municipalidad, con un consumo diario de agua potable de 150 L por trabajador y de 25 L para las visitas. El sistema de alcantarillado incluye una fosa séptica para tratar las aguas residuales junto a un dren de absorción, además de la implementación de cámaras desgrasadoras para tratar los caudales provenientes desde la cocina y los lavamanos. Respecto a los árboles se considera la plantación de 50 árboles nativos, los cuales serán regados con el agua que abastecen los camiones aljibes.

El diseño del sistema de tratamiento propuesto incluye cinco etapas: filtración por malla para eliminar los residuos sólidos del agua gris, un almacenamiento inicial para juntar estas aguas, luego con un sistema de bombeo se lleva a un humedal vertical, posteriormente por otro sistema de bombeo se lleva el agua a través de una desinfección con luz UV para finalmente ser almacenado en un estanque. Implementar este sistema de tratamiento ofrece una alternativa viable para reutilizar estas aguas en el riego de las áreas verdes del proyecto, ya que logra una remoción de los contaminantes, dando como resultado un efluente con 7,6 mg/L para los SST y de 15 mg/L para la DBO_5, cumpliendo con los límites establecidos en la normativa de aguas grises. Por otra parte, se estimó que mensualmente se va a tener un volumen de 58,8 m^3 de agua tratada potencialmente disponible, donde el requerimiento de riego corresponde a 22,73 m^3/mes, por lo tanto, el agua tratada es suficiente para cubrir el requerimiento hídrico de la faja arborizada, logrando un ahorro de agua del 38,7%.

La evaluación económica desarrollada en este trabajo permitió la evaluación del indicador valor actual neto (VAN), el cual tiene un valor -117,06 UF, donde los beneficios no cubren la inversión. Aunque el proyecto no genera beneficios monetarios, la aplicación de este proyecto generará beneficios ambientales y sociales, como la reducción del consumo de agua industrial, la mitigación de la presión sobre los recursos hídricos y la promoción de prácticas de reutilización sostenible. Por lo tanto, el sistema de tratamiento no solo representa una solución ecológica responsable, sino también es un aporte relevante a la gestión hídrica sostenible en la comuna de Villa Alemana.

8. Referencias Bibliográficas

Acuasud. (s.f.) Tratamiento de aguas residuales. [en línea] <https://acuasud.cl/index.php/es/tratamiento-de-aguas-residuales/plantas-de-tratamiento-de-aguas-grises.html > [consulta: 02 junio 2024]

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). (1999). *Wastewater technology fact sheet: Secuencing Batch Reactors.* https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sbr_new.pdf

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). (2000a). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo subsuperficial.* https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). (2000b). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo libre superficial.* https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf

Aguas Chile Tecnologías. (s.f.) ¿Quiénes somos? [en línea] <https://www.grupoaguaschile.cl/quienes-somos/ > [consulta: 02 junio 2024]

Ahumada, G. y Rojas, N. (2017). ¿Por qué aprovechar las aguas grises? Aguas grises: Un recurso latente. *Revista AIDIS, (54)*, 5-7.

Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios. (2022). *Reporte Andess 2022: Industria del Agua Potable y Saneamiento* https://www.andess.cl/wp-content/uploads/2023/06/Reporte-Andess-2022_Final.pdf

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

Baeza, E. (2018). *Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile- BCN.* https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25552/2/Informe_Tratamiento_Aguas_Residuales.pdf

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2023). Historia de la Ley N°21.623. [en línea] <https://www.bcn.cl/historiadelaley/nc/historia-de-la-ley/vista-expandida/8243/#h2_2_1> [consulta: 10 de mayo del 2024]

Chilquinta (2024). *Tarifas vigentes: Valores Tarifas de Suministro Eléctrico y Tarifas de las Generadoras Residenciales (facturación neta).* https://a.storyblok.com/f/82872/x/a9bb8ed1ed/suministro_chilquinta_202411.pdf

Colmedo, C. (2021). *Propuesta de un sistema para el tratamiento de aguas residuales con recuperación de aguas lluvias utilizando tecnologías no convencionales en la Escuela de Ingeniería en Medioambiente.* [Tesis Pregrado, Universidad de Valparaíso]. Repositorio Institucional UV.

Currículum Nacional (2024). Aprendo de Flora y Fauna. [en línea] <https://www.curriculumnacional.cl/estudiantes/Aprendo-de-Flora-y-Fauna/Plantas/308975:Plantas> [consulta: octubre 2024]

Decreto 40 de 2022 [Ministerio de Salud]. Aprueba el reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises. 20 de abril de 2022.

Deshgujarat. (2023). Grey water treatment plant pilot project in Bharuch successful in purifing waste water for reuse. [en línea] <https://deshgujarat.com/2023/07/10/grey-water-treatment-plant-pilot-project-in-bharuch-successful-in-purifing-waste-water-for-reuse/ > [consulta: 04 junio 2024]

Dirección General de Aguas. (2007). *Manual de normas y procedimientos del departamento de conservación y protección de recursos hídricos.* https://dga.mop.gob.cl/legistlacionynormas/normas/Reglamentos/proced_conservacion.pdf
Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & von Sperling, M. (2017). *Treatment wetlands.* (Vol. 7). IWA publishing.

El Observador. (2020). Hasta tres mil litros por semana de agua reutiliza agricultor de Olmué que riega con aguas grises. [en línea] <https://www.observador.cl/fotos-hasta-tres-mil-litros-por-semana-de-agua-reutiliza-agricultor-de-olmue-que-riega-con-aguas-grises/> [consulta: 26 mayo 2024]

Escenarios Hídricos 2030. (2018). *Radiografía del agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile.* https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2020/06/radiografia-del-agua-1.pdf

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. Química Viva, 11(3), 147-170.

Gedar (2020). *Filtro percolador.* [en línea] <https://www.gedar.es/tienda/163-filtro-percolador-v.html#/160-volumen_en_l-800_l> [consulta: agosto 2024]

Hernández, J. & Vargas, D. (2021). *Eficiencia entre Schoenoplectus californicus y Phragmites australis, mediante diseños de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales, AgroVictoria, Ica, 2021.* [Tesis Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Universidad César Vallejo.

Hoffmann, H., Winker, M., Platzer, C. & von Muench, E. (2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas.* https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Revision-T--cnica-de-Humedales-Artificiales.pdf

Ilustre Municipalidad de Villa Alemana. (2021). *Actualización Plan Regulador Comunal de Villa alemana, Etapa 2: Diagnóstico Estratégico integrado* https://prcvillaalemana.cl/wp-content/uploads/2021/05/1DIAGNOSTICOESTRATEGICOINTEGRADO.pdf

Ilustre Municipalidad de Villa Alemana (s.f.). Dirección Ambiental Municipal. [en línea] <https://www.villalemana.cl/oficinas/direccion-ambiental-municipal/> [consulta: 3 de mayo del 2024]

Instituto del agua (2024). *Cloro para aguas residuales: Una solución eficaz para la purificación del agua.* [en línea] <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/cloro-para-aguas-residualesaguas-residuales/> [consulta: septiembre 2024]

Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. (Vol. 1). McGrawHill.

Kurniawan, S., Novarini, Yuliwati, E., Ariyanto, E., Morsin, M., Sanudin, R., & Nafisah, S. (2021). Greywater treatment technologies for aquaculture safety: Review. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 35 (5), 327-334*. https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.03.014

Ley 21.075. Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises. Diario Oficial de la República de Chile, 15 de febrero de 2018.

Libretexts. (2022). *1.4: Coagulación y Floculación*. LibreTexts español. [en línea] <https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnologia_de_Sistemas_de_Agua/Agua_150%3A_Tratamiento_de_Agua_y_Operaciones_de_Planta_I_(Titiriga)/01%3A_Cap%C3%ADtulos/1.04%3A_Coagulaci%C3%B3n_y_Floculaci%C3%B3n> [consulta: agosto 2024]

Mesa Nacional del Agua (2020). *Primer Informe.* https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/2d3012b1-c30f-403c-83eb-3c6fecd9c2c1/content

Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales*. (3ª ed., Vol. 1). McGraw-Hill.

Morel, A. y Diener, S. (2006). Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MORELA~1.PDF

Naciones Unidas en Chile. (2021). *Escasez hídrica en Chile: Desafíos pendientes.* https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20H%C3%ADdricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf

Norma Chilena Oficial NCh 1333.Of.78 modificada en 1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Santiago de Chile. 1987

Nuevo, D. (2024). *La cloración del agua en tratamientos de aguas residuales*. [en línea] <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/> [consulta: agosto 2024]

Proyecto GWR. (2024). Proyecto Greywater Treatment and Reuse. [en línea] <https://www.proyectoaguasgrises.usach.cl/?q=es/proyecto-greywater-treatment-and-reuse> [consulta: 4 junio 2024]

Servicio de Impuestos Internos. (2003). *Nueva tabla de vida útil de bienes físicos del activo inmovilizado*. https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm

Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA). (2020). Ficha del proyecto: Centro de Compostaje Villa Alemana. https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2149076463

Sistema Nacional de Inversiones. (2024). *Informe de precios sociales 2024*. https://sni.gob.cl/storage/docs/Informe_precios_sociales_2024_SNI-Chile.pdf

Sperta. (2024). *¿Qué es el tiempo de retención hidráulica (HRT) y cómo se calcula?* [en línea] <https://spertasystems.com/es/hydraulic-retention-time-hrt/> [consulta: agosto 2024]

Subdere. (s.f.). Villa Alemana. [en línea] <https://www.subdere.cl/divisi%C3%B3n-administrativa-de-chile/gobierno-regional-de-valpara%C3%ADso/provincia-de-marga-marga/villa-alem> [consulta: 10 de mayo del 2024]

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., y Zurbrügg, C. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática. https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf

UN-HABITAT (2008). *Constructed Wetlands Manual*. https://unhabitat.org/constructed-wetlands-manual

UNATSABAR. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf

UNESCO. (s.f.). Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU-Agua). [en línea] <https://www.unesco.org/es/articles/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua> [consulta: marzo 2024]

United Nations Convention to Combat Desertification. (2023). *Los datos sobre sequía muestran" una emergencia sin precedentes a escala planetaria": ONU.* https://www.unccd.int/sites/default/files/2023-12/Global%20Drought%20Snapshot%20SP.pdf

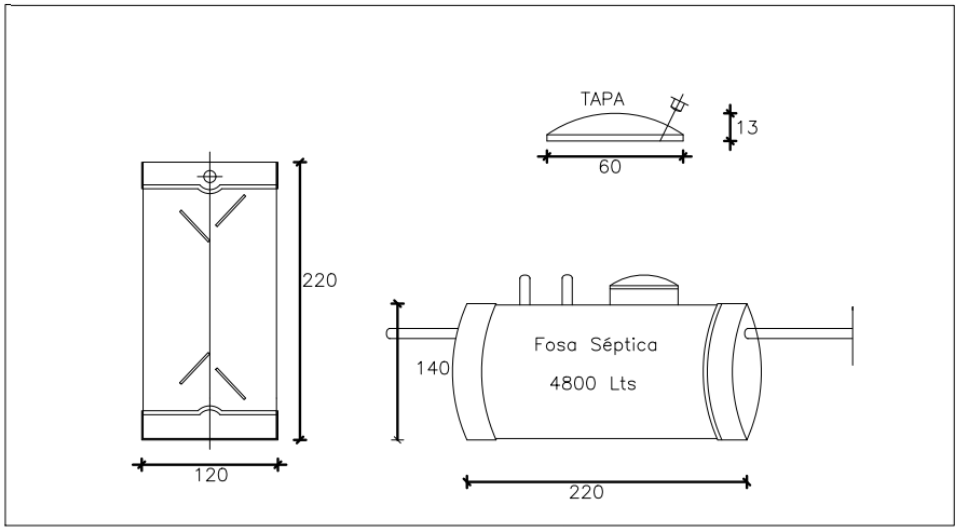
Vidal, G. y Hormazábal, S. (2018). *Humedales Construidos*. Universidad de Concepción.

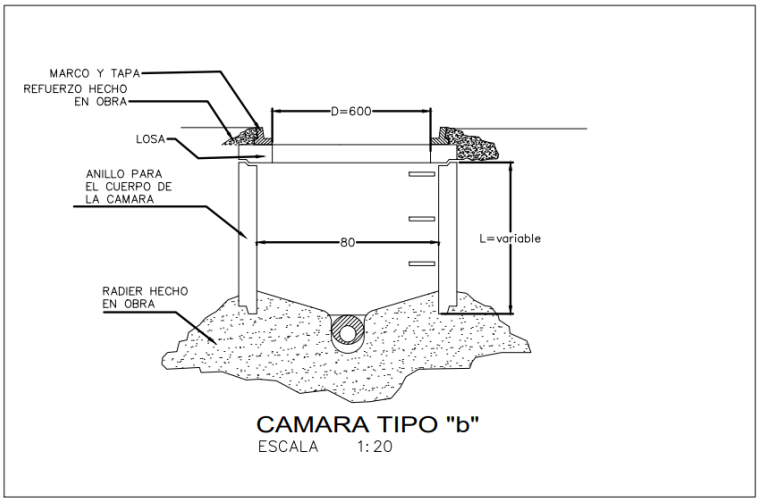
World Resources Institute (2015). Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. [en línea] <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040> [consulta: marzo 2024]

World Resources Institute (2023). 25 países, una cuarta parte de la población mundial, enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto. [en línea] <https://es.wri.org/insights/25-paises-una-cuarta-parte-de-la-poblacion-mundial-enfrentan-un-estres-hidrico > [consulta: 09 de mayo de 2024]

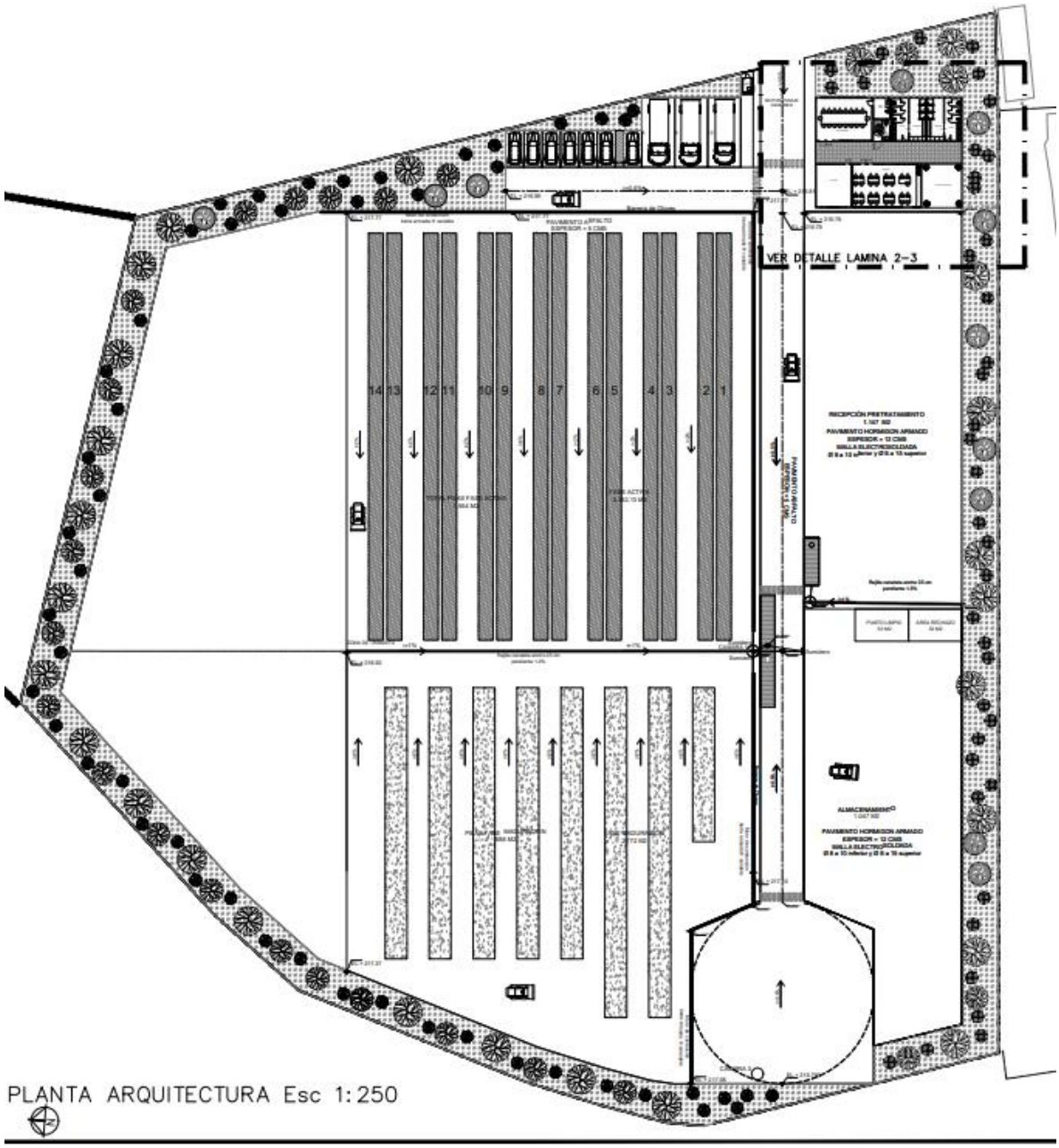
ANEXOS

ANEXO 1: Diseño fosa séptica y cámara de inspección

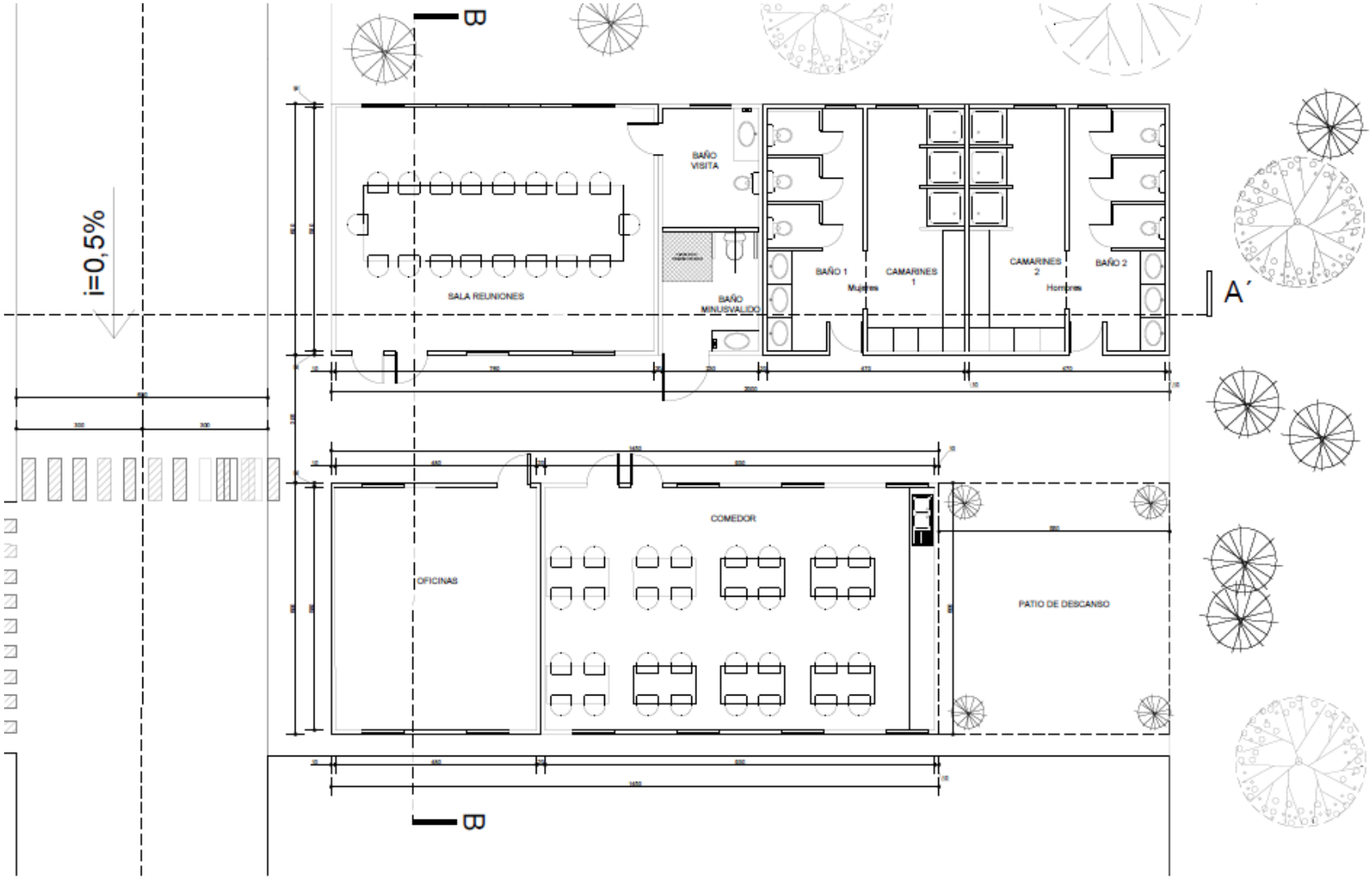




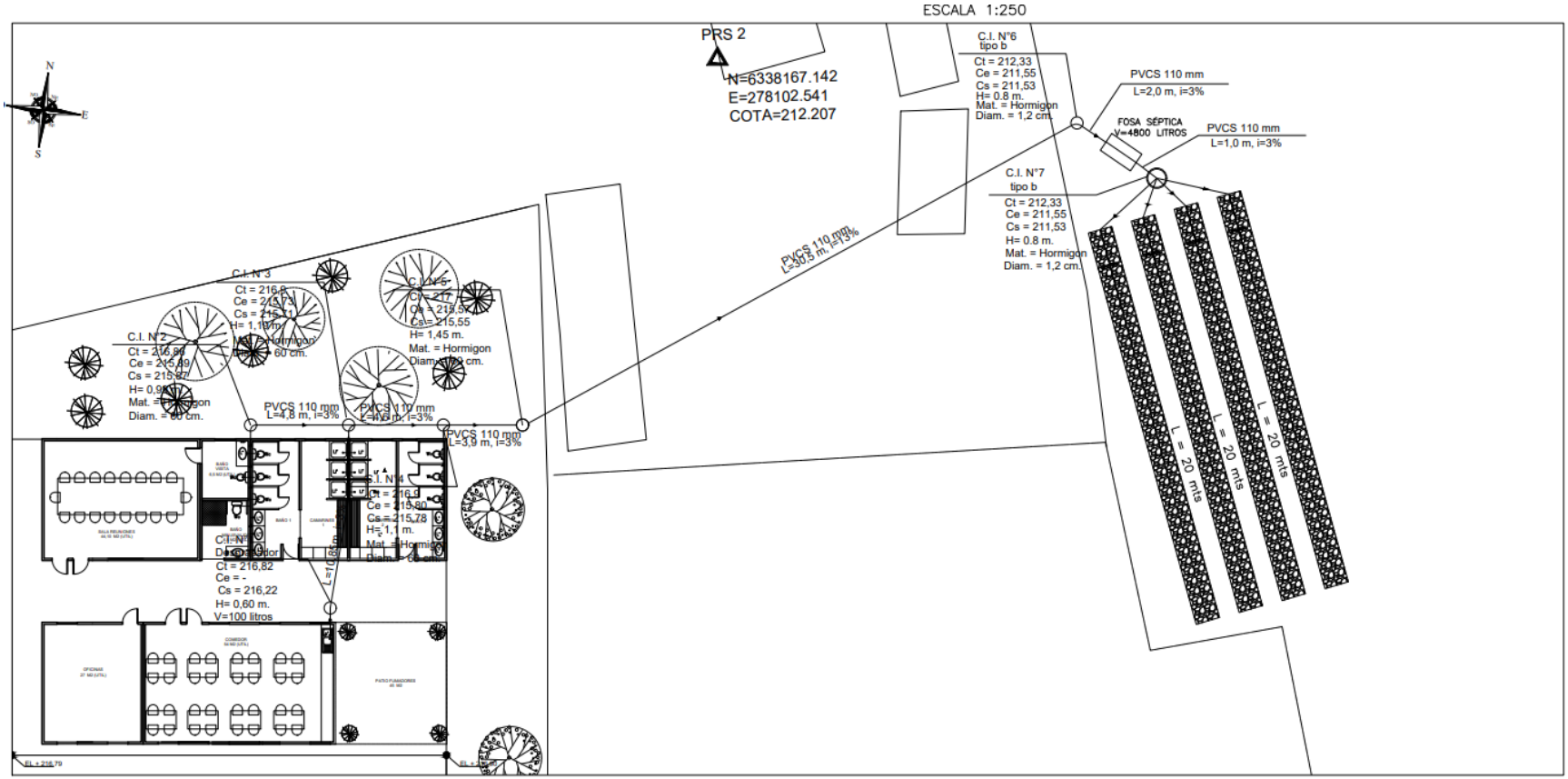
ANEXO 2: Diseño Planta Centro de Compostaje Villa Alemana



ANEXO 3: Planta área administrativa del proyecto “Centro de Compostaje Villa Alemana”



ANEXO 4: Planta área administrativa y diseño de la fosa séptica con el dren de absorción.



Anexo 5: Fichas técnicas para diferentes equipos de tratamiento de aguas grises.

1. Ficha técnica del filtro de carbón.

FICHA TECNICA FILTRO CARBON ACTIVADO

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO

ESPECIFICACIONES

Índice de yodo	min. 1000 mg/g
Humedad al embalaje	max. 5 %
CTC adsorción	min. 50 %
Contenido de cenizas totales	max. 4 %
Dureza mecánica	min. 98 %
Densidad aparente	min. 430 kg/m³

PROPIEDADES TIPICAS

Superficie (BET)	1050 m²/g
Declinación Valor de Altura Media (12x40 mesh)	1.8 cm
Densidad aparente	540 kg/m³
Densidad de lavado a contracorriente y drenada	470 kg/m³



MODELO EQUIPO	VALVULA CONTROL	TAMAÑO TANQUE (pulg)	CAUDAL DE RETROLAVADO (m³/h)	CAUDAL MÍNIMO OPERACION (m³/h)	CAUDAL MÁXIMO OPERACION (m³/h)
10000-FCA-10X54	AQT-56SE-FT	10X54	0.91	0.3	0.8
10000-FCA-12X48	AQT-56SE-FT	12X48	1.31	0.4	1.1
10000-FCA-13X54	AQT-56SE-FT	13X54	1.54	0.4	1.3
10000-FCA-14X65	AQT-275F-NX	14X64	1.79	0.5	1.5
10000-FCA-16X65	AQT-275F-NX	16X65	2.33	0.6	1.9
10000-FCA-18X65	AQT-275F-NX	18X65	2.96	0.8	2.5
10000-FCA-21X62	AQT-275F-NX	21X62	4.02	1.1	3.4
10000-FCA-24X72	AQT-275F-NX	24X72	5.25	1.5	4.4
10000-FCA-30X72	AQT-285F-NX	30X72	8.21	2.3	6.8
10000-FCA-36X72	AQT-285F-NX	36X72	11.82	3.3	9.9
10000-FCA-42X72	AQT-315F-NX	42X72	16.09	4.5	13.4
10000-FCA-48X72	AQT-315F-NX	48X72	21	5.8	17.5
10000-FCA-63X86	AQT-385F-NX	63X86	36.2	10.1	30.2

PARAMETROS DE OPERACIÓN		COMPONENTES		CONECCION ELECTRICA	
Presión de Operación	**2 - 5 bar**	**Tanque Filtro**	**FRP**	**Válvula Automática**	**220 V / Monofásica : 50 HZ**
Presión Mínima de Entrada	**2 bar**	**Válvula Automática**	**Noryl / Bronce**	**Controlador**	**NXT**
Temperatura de Operación	**< 40 °C**	**Medidor de caudal**	**Opcional**	**Potencia Requerida**	**1,5 A°**

2. Ficha técnica del filtro de arena



SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE FILTRACIÓN DE ARENA

La tecnología de filtración más confiable y resistente al agua de riego de baja calidad, traída por el líder global en sistemas inteligentes de riego. Son indispensables cuando el agua de riego proviene de fuentes superficiales como canales, reservorios ríos, etc., que contienen grandes cantidades de materia orgánica y sólidos en suspensión.

BENEFICIOS Y CARACTERÍSTICAS

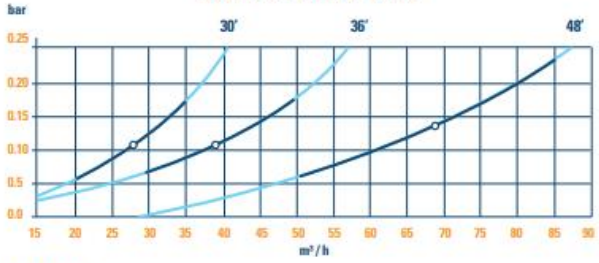
- **Fácil mantenimiento.** Debido a sus GRANDES puertos de acceso laterales, es posible llegar a todas las zonas internas del tanque para extraer la arena con mayor facilidad.
- **Flexibilidad y capacidad de expansión**. Gracias a sus manifolds modulares es posible agregar una o más unidades de acuerdo a los requerimientos del productor, aumentando la capacidad de filtración.
- **Automatización.** Todos los filtros Sandstorm™ de Netafim, cuentan con un kit de automatización para el retro-lavado de los filtros.
- **Confiabilidad.** Todos nuestros productos cuentan con el respaldo y experiencia de Netafim, teniendo siempre en mente las necesidades de cada cliente y sus cultivos.

FILTROS METÁLICOS

RANGO RECOMENDADO ——

PROMEDIO O

CURVAS DE PÉRDIDAS DE CARGA



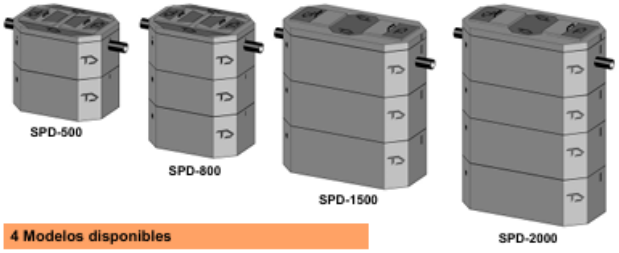
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TANQUE

DIÁMETRO DEL TANQUE (in)	PESO DEL TANQUE (Kg)	DIÁMETRO DE ENTRADA Y SALIDA (in)	ÁREA DE FILTRACIÓN (m²)	CANTIDAD DE ARENA (Kg)*	RANGOS DE FLUJO RECOMENDADO (m³/h)			PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN (bar)	PRESIÓN MÍNIMA RETRO-LAVADO (bar)
					MIN.	MAX.	RETRO-LAVADO		
30	120	3	0.45	270	20	34	20	8	2
36	155	3	0.65	350	29	49	28		
48	235	4	1.13	675	51	85	43		

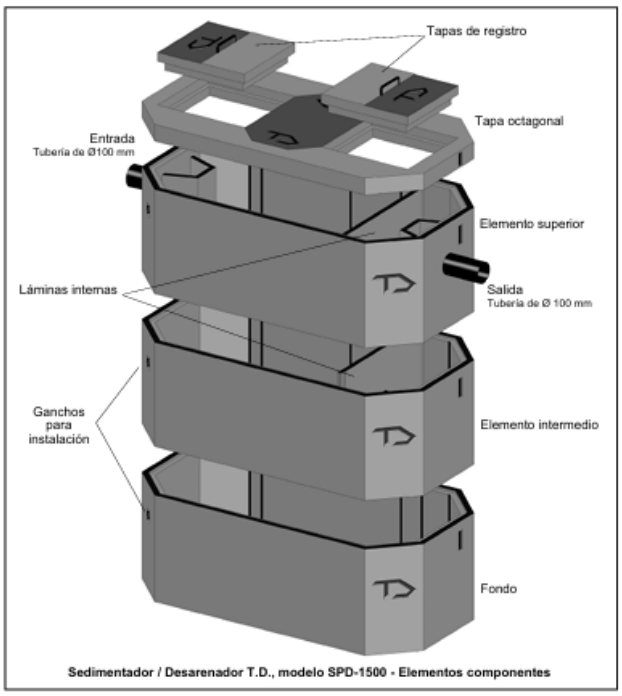
3. Ficha técnica del sedimentador

SEDIMENTADORES / DESARENADORES SPD TANQUE DIEZ®

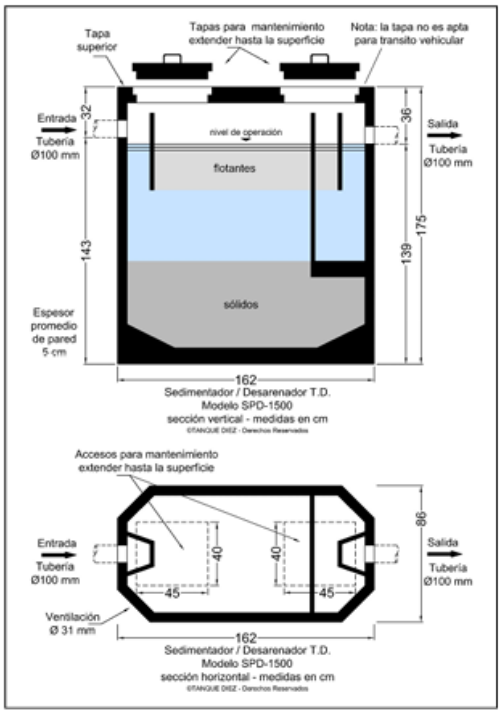
SPD: Unidades para sedimentación primaria / Desarenadores - Uso general



4 Modelos disponibles



Sedimentador / Desarenador T.D., modelo SPD-1500 - Elementos componentes



Esquema de instalación en planta (indicativo)

1. Sedimentador / Desarenador T.D. (SPD) conexión genérica.



Simbología:
SPD = Sedimentador / Desarenador T.D.
CM = Caja Multiuso T.D.
E S = entrada aguas con partículas sólidas

Datos Técnicos - Sedimentadores / Desarenadores T.D. - serie SPD

MODELO	Volumen normal de funcionamiento litros	Volumen vacío litros	Cámaras internas	Retención partículas sólidas en litros	Retención substancias flotantes en litros	Medida externas en cm: L x A x H	Profundidad min. cm entrada - salida	Tubería Ø mm	Peso Kg
SPD-500	500	630	2	300	100	114 x 84 x 103	21 - 25	100	575
SPD-800	800	950	2	500	100	114 x 84 x 144	21 - 25	100	755
SPD-1500	1500	1700	3	600	300	162 x 86 x 175	32 - 36	100	1445
SPD-2000	2000	2180	3	1100	300	162 x 86 x 220	32 - 36	100	1710

4. Ficha técnica del reactor biológico de membranas (MBR)

SIGMADAF Empresa Sistemas DAF Filtros prensa Sistemas biológicos Artículos

¿Qué ventajas ofrece un sistema MBR?

Un biorreactor de membranas ofrece numerosas ventajas frente a otros sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales:

- Al instalar un proceso de filtración por membranas junto a un reactor de lodos activos se obtiene un mayor rendimiento en la eliminación de materia orgánica
- La calidad del agua de salida es mayor y se mantiene constante
- Planta compacta
- Volumen y espacios reducidos.
- Tratamiento sencillo. La gestión de proceso es simple y económica gracias a que no se produce sedimentación en la cuba biológica.
- Resistencia a los agentes oxidantes
- Sencillez de operación, ya que el operador sólo debe controlar el funcionamiento de la bomba de permeado y recirculación y las presiones de trabajo. Los parámetros de trabajo se controlan con un PLC que tiene la posibilidad de realizar conexiones remotas vía MODEM.
- Estabilidad y flexibilidad
- Modularidad
- Estandarización

Gracias a nuestros sistemas MBR se obtiene un agua depurada de muy alta calidad, siendo posible su reutilización en numerosos procesos de producción industrial.

Instalación de un sistema MBR

Nuestros biorreactores de membrana se pueden instalar en contenedores ISO, facilitando el transporte, montaje y, eventualmente, posteriores ampliaciones.

- Instalación plug&play rápida
- Bajo requerimiento de espacio
- No emite olores, ni atrae portadores como insectos
- Altos volúmenes de carga
- Desinfección sin UV, ni productos químicos
- Efluente adecuado para uso agrícola, o para su reutilización en aguas de cisternas de retretes.
- Proceso completamente automatizado
- Posibilidad de ampliación modular

Información técnica

Tipo	CAPACIDAD HIDRÁULICA (m^3/day)	LONGITUD (mm)	ANCHO (mm)	ALTURA (mm)	BRIDA DE ENTRADA DN	BRIDA DE SALIDA DN	UNIDAD DE MEMBRANAS m^2	PESO VACIO Kg	PESO LLENO Kg
SMBR 50	50	11000	2150	2200	GRAVITY	100	60	4500	30000
SMBR 100	100	11000	2150	2200	GRAVITY	100	120	4500	30000
SMBR 150	150	11000	2150	2200	GRAVITY	100	180	4500	30000

5. Ficha técnica del contactor biológico rotativo (RBC)

RBC (Rotating Biological Contactor)

Process and Application:

Compared to some treatment systems, the Jacopa™ RBC unit can offer a very cost-effective solution -and with their low power motors, they are also environmentally friendly.

Used to remove soluble, biodegradable, organic materials from domestic and industrial wastewater, an Jacopa™ RBC system can achieve a high quality final effluent that meets Environment Agency discharge consents. The Jacopa™ RBC unit can be used for BOD reduction, BOD and Ammonia reduction for nitrification and for denitrification. Each application is appraised by qualified process engineers to provide tailored recommendations ensuring a high quality final effluent is achieved every time.

Both biomass thickness and speed of rotation are fundamental to the design life of an RBC plant. The biomass thickness on the media applies a load to the frames and shaft, this load creates fatigue stresses.

It is therefore important to specify the assumed biomass thickness when designing a plant to demonstrate that this important element has been considered. Jacopa's™ standard RBC design assumes a 3mm thick biomass on medium density media discs and a 2mm thick biomass on high density discs.

Rotating an RBC rotor slowly increases contact time with the waste to be treated and improves treatment. However, research has shown that rotating a rotor at less than 1.0 rpm can assist the development of Beggiatoa which is a nuisance bacteria. This not only affects process performance but also reduces the life of the plant. For this reason the Jacopa™ standard RBC rotates at the optimum speed of 1 rpm.



Technical Data:

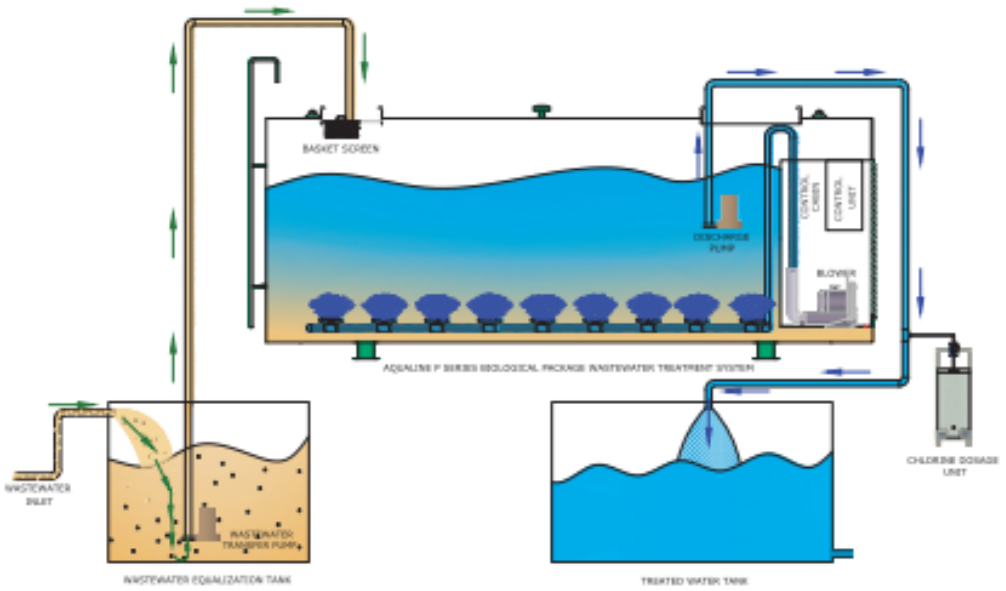
Population	DWF (m3/d)	Max Daily Flow	Total Daily BOD (kg) (m3/day)	No. of Stages (m)	Rotor Diameter	Media Area (m²)	Motor rating (kW)
300	54	324	18	4	2.6	3,126	1.10
400	72	432	24	4	3.0	4,240	1.10
500	90	540	30	4	3.6	5,252	1.50
600	108	648	36	4	3.6	6,374	1.50
700	126	756	42	4	3.6	7,345	1.50
800	144	864	48	5	3.6	8,403	1.50

Population based on 180 l/hd/day and 60 grms BOD/hd/day for a 95%ile 20mg/l BOD, 30mg/l SS consent, assuming 30% BOD reduction in primary settlement

6. Ficha técnica del reactor biológico secuencial (SBR)

WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS

AQUALINE
WATER AND WASTEWATER TREATMENT



MODEL	EQUIVALENT PEOPLE	FLOWRATE (m^3/day	CYLINDRICAL SYSTEM MEASURES			PRISMATIC SYSTEM MEASURES		
			DIAMETER (mm)	HEIGHT (mm)	EMPTHY WEIGHT (kg)	WIDTH (mm)	LENGTH (mm)	HEIGHT (mm)
AQUALINE SBR 25	25	5	Ø 1800	3000	1200	2150	1500	2200
AQUALINE SBR 50	50	10	Ø 2300	3000	1500	2150	2000	2200
AQUALINE SBR 100	100	20	Ø 2800	3000	2000	2150	3500	2200
AQUALINE SBR 150	150	30	Ø 2800	4500	3100	2150	3500	2700
AQUALINE SBR 200	200	40	Ø 2800	6000	3300	2150	4000	2700
AQUALINE SBR 300	300	60	Ø 2800	7500	3900	2150	5750	2700
AQUALINE SBR 400	400	80	Ø 2800	9000	4500	2150	7250	2700
AQUALINE SBR 500	500	100	Ø 2800	10500	5100	2150	9500	2700
AQUALINE SBR 600	600	120	Ø 2800	12000	5600	2150	10750	2700
AQUALINE SBR 700	700	140	Ø 2800	13500	6200	2150	10000	3000
AQUALINE SBR 800	800	160	Ø 2800	13500	6200	2150	11250	3000
AQUALINE SBR 1000	1000	200	Ø 2800	13500	6200	2150	13500	3000

7. Ficha técnica lámpara luz UV

BIO UV
Ultraviolet Solutions

GAMA IAM REACTOR CERRADO - BAJA PRESIÓN

Descripción	Caudal máximo en m³/h *	Rendimientos en milijulios por cm² con los caudales reales aconsejados **	Lámpara UV: Número y Consumo eléctrico	Conexiones DN	Longitud del reactor en mm	Diámetro del reactor en mm
IAM2205/120	12	40	2 x 120 W	DN 100	985	205
IAM2273/300	27	40	2 x 300 W	DN 150	1339	273
IAM3273/300	41	40	3 x 300 W	DN 150	1339	273
IAM4273/300	55	40	4 x 300 W	DN 200	1339	273
IAM5273/300	70	40	5 x 300 W	DN 200	1339	273

* Para caudales distintos, por favor, consulte con nosotros
** El rendimiento de estos aparatos ha sido calculado en fin de vida de las lámparas y con una transmitencia de 70%

VENTAJAS

- Captador de control UV que cumple con la norma austriaca ÖNORM y que garantiza el continuo buen funcionamiento del reactor
- Visor LCD de intensidad UV, manejo a distancia mediante salida 4-20mA
- Personalización de los reactores en función de las particularidades de instalación, de funcionamiento y de mantenimiento (diámetro de las bridas, colocación entrada/salida, reactor vertical/horizontal, …)
- Lámparas monocasquillo y sistema de estanqueidad patentado que facilitan el mantenimiento
- CON OPCION POSIBLE : el sistema de limpieza automatica de las vainas de cuarzo
- Duracion de vida de las lamparas : 13000 horas

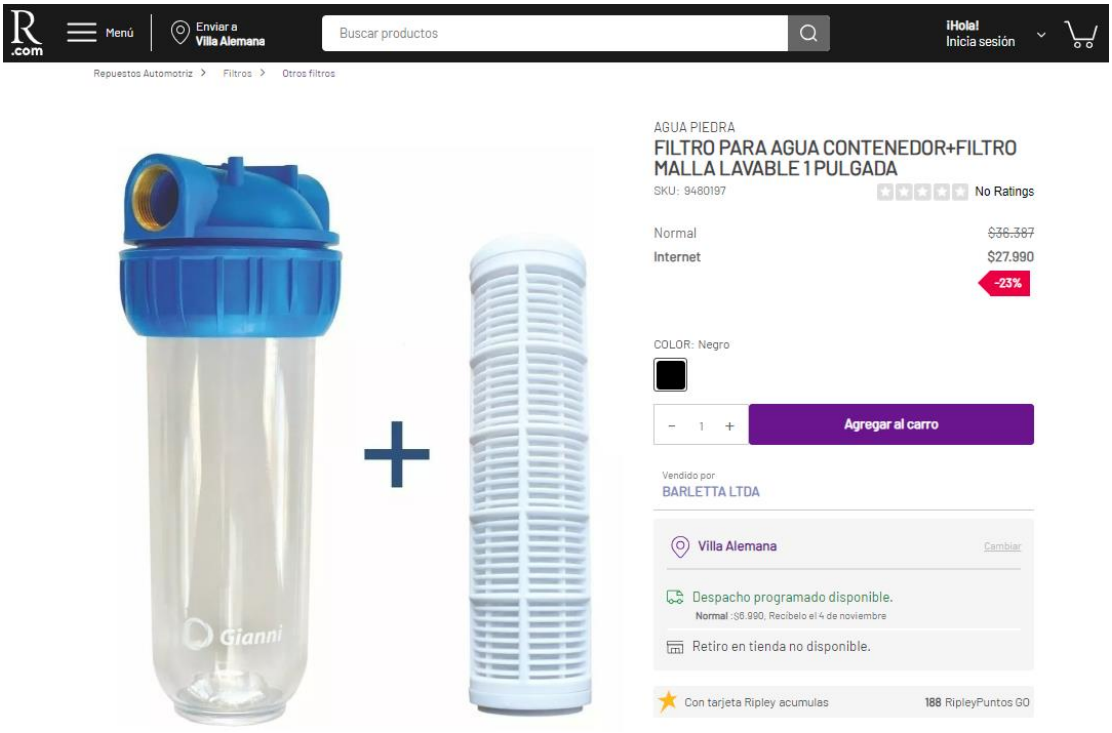
GAMA RW REACTOR CERRADO - BAJA PRESSIÓN

Descripción	Caudal máximo en m³/h *	Rendimientos en milijulios por cm² con los caudales reales aconsejados **	Lámpara UV: Número y Consumo eléctrico	Conexiones DN	Longitud del reactor en mm	Diámetro del reactor en mm
RW 4168/120	10	40	4 x 120 W	DN 100	1342	168
RW 4168/170	20	40	4 x 170 W	DN 100	1339	168
RW 4219/300	40	40	4 x 300 W	DN 150	1570	219
RW 4273/400	60	40	4 x 400 W	DN 200	2000	273
RW 6273/400	90	40	6 x 400 W	DN 200	2000	273
RW 8273/400	150	40	8 x 400 W	DN 200	2000	273
RW 10355/400	190	40	10 x 400 W	DN 250	2000	355
RW 12355/400	230	40	12 x 400 W	DN 250	2000	355
RW 14355/400	260	40	14 x 400 W	DN 250	2000	355
RW 16406/400	315	40	16 x 400 W	DN 300	2005	408
RW 24508/400	455	40	24 x 400 W	DN 300	2016	508
RW 30609/400	508	40	30 x 400 W	DN 350	2043	609
RW 48711/400	900	40	48 x 400 W	DN 400	2020	700

* Para caudales distintos, por favor, consulte con nosotros
** El rendimiento de estos aparatos ha sido calculado en fin de vida de las lámparas y con una transmitencia de 60%

Anexo 6: Equipos a utilizar en la propuesta de tratamiento de aguas grises.

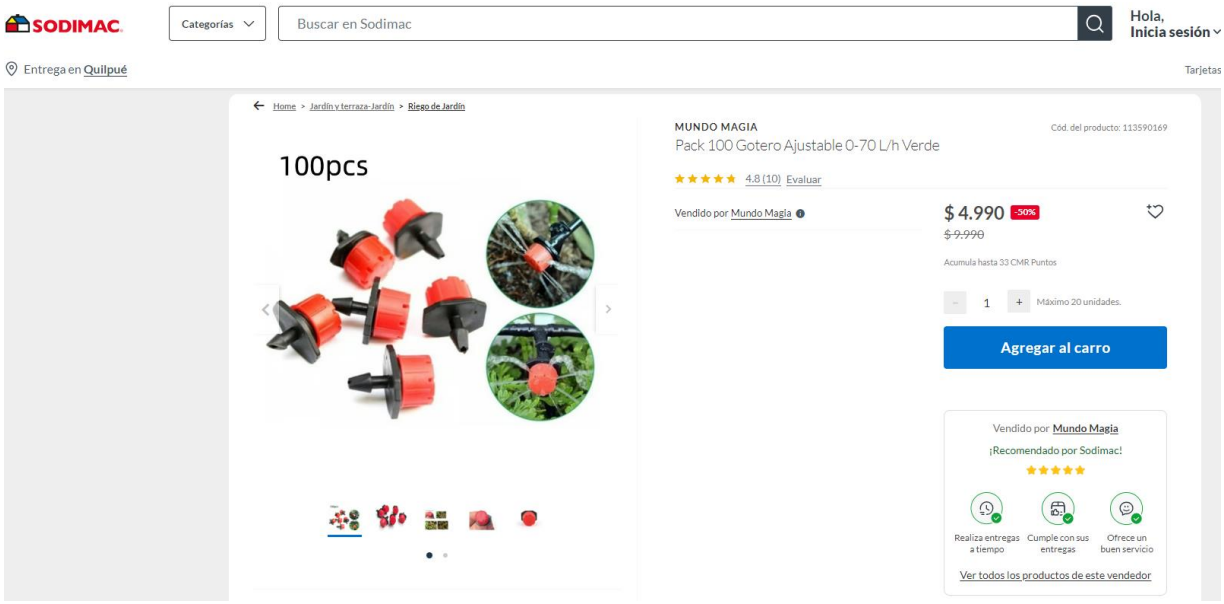
1. Filtro de Malla



2. Estanque de almacenamiento 1



3. Goteros



4. Lámpara luz UV



5. Estanque de almacenamiento 2



Anexo 7: Temperaturas medias mensuales y Precipitaciones mensuales entre los años 1980 y 2024.

Temperatura media mensual [°C]													
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2024	16.4	17.8	16.7	14.7	10.7	11.6	10.2	10.2	12.3	13.2	.	.	.
2023	16.7	16.8	17.1	14.6	13.2	12.8	12.2	12.4	12.1	12.3	13.6	15.3	14.1
2022	17.3	16.4	15.7	13.0	11.6	10.6	9.3	10.5	10.6	12.7	14.1	17.5	13.3
2021	15.6	15.4	14.7	13.1	13.5	12.2	9.9	9.8	11.7	12.7	14.2	15.7	13.2
2020	16.4	16.1	15.7	14.6	14.3	10.5	11.0	10.2	11.7	11.9	13.5	15.2	13.4
2019	16.3	16.3	15.2	13.9	12.2	11.0	10.4	12.3	10.7	13.5	16.1	16.8	13.7
2018	16.3	16.6	16.0	13.3	12.9	10.5	9.5	10.2	12.5	12.5	16.3	15.6	13.5
2017	18.5	17.3	16.2	15.3	12.1	10.9	10.7	10.0	11.6	12.8	14.8	15.9	13.8
2016	17.9	17.0	15.0	14.0	13.0	10.3	10.6	11.9	11.6	13.6	15.6	16.3	13.9
2015	16.4	17.0	18.1	16.1	13.7	13.5	11.4	12.3	13.6	13.0	14.7	16.4	14.7
2014	18.2	17.1	15.9	15.1	13.8	10.8	11.0	12.1	12.3	14.0	14.8	15.6	14.2
2013	17.5	19.4	16.6	14.6	12.9	11.3	11.2	12.1	12.3	12.9	15.1	16.9	14.4
2012	18.3	18.9	18.2	15.3	14.8	12.7	11.3	11.0	12.1	12.7	14.3	16.7	14.7
2011	17.4	17.7	16.6	14.6	12.1	11.6	9.5	10.5	13.4	13.3	15.5	16.7	14.1
2010	17.6	17.0	16.8	14.5	13.0	11.0	9.3	11.0	12.7	13.3	14.5	15.1	13.8
2009	17.5	17.6	16.6	15.6	14.3	11.1	11.6	12.1	11.0	14.9	15.0	17.3	14.5
2008	17.6	18.2	17.7	14.2	11.8	10.8	11.1	11.5	12.8	13.7	15.2	16.8	14.3
2007	18.2	17.3	16.6	14.9	11.8	9.8	10.2	9.1	10.5	13.6	15.5	15.9	13.6
2006	18.1	17.8	16.6	14.7	12.1	12.5	12.8	11.7	13.4	14.3	14.8	17.3	14.7
2005	17.8	17.4	17.5	15.2	12.0	12.3	10.6	12.0	11.5	13.0	15.1	15.8	14.2
2004	17.4	16.8	17.5	16.4	11.8	12.1	11.6	11.6	12.8	13.6	15.1	17.8	14.5
2003	18.9	17.1	15.5	15.1	13.2	13.1	11.4	11.2	13.0	15.0	15.9	16.8	14.7
2002	17.7	16.7	18.7	15.2	12.8	10.6	11.4	11.9	13.4	14.2	15.0	16.8	14.5
2001	17.6	17.8	16.7	14.7	12.3	11.6	11.5	11.0	11.4	13.4	15.0	16.5	14.1
2000	18.0	17.7	16.1	14.1	12.9	10.8	11.0	11.6	11.7	13.2	15.5	17.2	14.2
1999	16.0	17.1	16.3	15.2	13.4	11.8	10.3	11.5	11.6	12.9	15.0	16.4	13.9
1998	18.8	17.1	17.4	14.9	14.3	12.4	10.9	10.8	12.2	13.7	14.5	16.4	14.5
1997	19.4	17.6	16.1	16.2	14.6	12.3	12.2	13.2	13.1	13.3	15.6	17.4	15.1
1996	17.1	16.4	16.1	14.6	12.6	10.6	11.8	10.9	12.5	13.8	15.9	16.7	14.1
1995	18.5	17.1	16.6	16.6	15.3	13.8	10.3	10.7	12.3	13.8	14.3	15.4	14.6
1994	16.9	16.3	15.7	15.0	13.5	12.6	10.9	10.8	13.8	14.2	15.9	17.8	14.4
1993	19.4	17.0	17.8	15.4	.	12.0	10.1	11.2	11.6	13.3	15.9	16.6	10,84
1992	17.9	17.7	17.6	15.2	12.4	10.2	9.4	10.9	12.3	14.4	15.5	17.9	14.3
1991	18.0	17.4	15.8	15.0	13.8	12.4	11.1	9.9	13.8	13.2	15.4	17.4	14.4
1990	17.6	17.5	16.1	14.6	13.7	13.2	11.2	12.0	12.9	12.8	14.6	17.0	14.4
1989	17.6	17.8	16.1	15.1	12.6	12.7	11.3	12.1	11.5	13.4	15.5	18.2	14.5
1988	16.5	16.8	17.4	15.1	12.8	11.8	10.0	11.0	11.7	13.9	15.1	16.0	14.0
1987	17.4	18.3	17.4	15.1	11.8	13.3	10.8	11.1	12.8	14.1	16.1	17.4	14.6
1986	18.2	17.5	16.1	14.9	13.9	11.5	12.1	11.5	12.3	14.8	15.0	17.8	14.6
1985	17.5	17.6	15.3	14.3	13.3	11.8	10.0	11.2	12.1	13.6	15.3	16.9	14.1
1984	.	.	16.4	15.5	11.5	9.9	11.4	10.5	12.4	14.8	14.7	16.5	.
1983	18.4	19.4	17.2	16.0	.	.	10.4	11.8	11.9	14.0	15.1	16.6	.
1982	17.2	17.7	17.2	14.7	13.0	11.4	12.0	12.1	13.4	14.4	15.0	17.5	14.6
1981	18.2	17.6	15.8	15.2	13.5	11.7	10.8	12.4	13.5	12.8	14.8	16.7	14.4
1980	17.8	19.2	18.1	14.9	12.9	12.8	11.4	12.2	12.2	13.4	13.8	16.5	14.6
PROMEDIO	17,38	17,28	16,55	14,88	12,73	11,62	10,84	11,29	12,4	13,47	14,95	16,65	13,9

Precipitaciones mensuales [mm]													
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2024	3.3	1.9	2.2	14.3	57.5	353.2	1.6	148.5	34.4	12.8	.	.	629.7
2023	0.3	0.3	2.0	58.8	41.0	108.3	104.4	125.5	64.0	35.6	30.9	5.8	576.9
2022	3.6	0.4	1.0	31.1	0.5	91.3	145.1	66.7	7.4	2.9	4.9	5.9	360.8
2021	36.2	1.0	2.0	17.7	4.8	44.3	13.3	50.1	38.3	1.2	1.7	4.3	214.9
2020	0.1	1.2	0.4	2.9	2.2	228.0	112.8	41.3	3.7	2.7	3.0	0.3	398.6
2019	0.5	3.1	1.9	2.8	4.3	85.6	8.4	0.4	1.5	0.3	0.9	0.0	109.7
2018	1.6	0.2	0.8	1.2	38.4	88.2	89.1	13.3	16.3	8.0	0.0	0.0	257.1
2017	0.1	0.3	1.2	5.5	113.8	212.0	50.3	132.7	22.9	48.4	5.5	3.7	596.4
2016	6.5	s/p	2.7	123.4	48.8	45.8	125.8	0.2	3.5	18.3	0.4	16.9	392.3
2015	4.7	1.1	5.0	1.0	2.7	1.0	68.7	226.2	99.2	100.9	0.3	0.1	510.9
2014	0.0	0.2	0.7	0.5	32.5	165.0	45.4	78.8	53.4	0.7	4.5	0.6	382.3
2013	2.5	0.2	s/p	1.0	223.4	90.8	19.4	29.8	0.1	2.1	1.9	1.9	149.7
2012	0.1	0.4	1.0	0.7	73.5	187.1	0.4	102.7	7.9	60.9	20.3	30.3	485.3
2011	0.7	1.0	0.7	16.4	0.8	120.5	104.2	94.3	0.0	s/p	0.4	1.0	340.0
2010	0.2	0.3	0.3	0.2	78.2	151.6	54.1	2.9	33.1	17.3	2.3	2.0	342.5
2009	s/p	0.1	2.0	2.7	1.6	228.3	19.0	179.1	9.2	0.7	s/p	s/p	442.7
2008	0.0	0.4	9.0	20.6	227.9	107.1	109.2	201.3	3.1	0.0	0.1	0.0	678.7
2007	s/p	27.6	0.6	s/p	22.8	57.4	49.8	59.6	2.3	0.7	2.2	0.1	223.1
2006	2.4	0.5	s/p	4.3	100.3	216.3	163.3	55.9	19.5	60.4	0.9	s/p	623.8
2005	s/p	0.4	16.5	0.8	132.0	110.6	62.1	141.5	33.5	8.5	21.0	0.4	526.9
2004	0.8	0.5	5.3	43.5	47.9	127.4	189.6	94.3	25.8	0.6	35.3	s/p	571.0
2003	0.0	s/p	4.9	1.4	142.9	43.8	78.2	22.0	42.1	4.5	27.5	s/p	367.3
2002	0.1	0.2	8.5	2.4	384.3	311.9	158.5	235.8	16.2	15.5	0.0	0.0	1,133.4
2001	0.4	2.3	0.4	20.2	67.5	2.0	528.2	127.3	21.6	0.0	0.0	0.0	769.9
2000	0.0	3.4	0.0	12.9	29.0	612.5	10.4	8.9	166.7	4.7	0.0	0.6	848.5
1999	0.0	0.0	26.9	5.0	36.7	112.9	54.7	130.3	206.0	0.4	0.0	s/p	572.9
1998	s/p	0.2	0.0	28.3	23.6	53.8	s/p	0.0	20.6	0.4	0.0	s/p	126.9
1997	s/p	0.0	0.7	8.8	236.3	444.9	113.0	170.5	112.1	73.2	9.9	0.0	1,169.4
1996	0.0	0.2	1.5	17.8	22.6	71.3	161.5	112.4	1.2	3.5	s/p	10.2	402.2
1995	s/p	s/p	0.2	65.9	0.7	134.1	154.8	77.0	7.7	21.1	1.4	1.6	462.9
1994	0.0	0.0	0.6	45.4	132.2	71.0	101.7	68.2	28.7	13.3	s/p	3.9	465.0
1993	0.0	0.0	0.0	116.5	88.3	123.7	99.7	43.9	4.6	8.6	2.3	2.7	490.3
1992	0.0	12.0	25.3	31.6	369.3	321.4	4.0	229.1	62.3	0.7	2.5	0.0	1,058.2
1991	s/p	0.0	0.0	29.9	152.5	307.8	101.1	14.3	107.8	17.5	0.0	34.8	765.7
1990	0.0	0.0	28.7	0.0	16.0	2.4	83.5	26.3	43.8	23.9	0.0	0.0	224.6
1989	1.5	0.4	1.3	3.7	11.8	44.4	141.1	135.8	1.5	2.2	0.0	0.8	344.5
1988	s/p	0.0	12.5	1.7	0.0	37.6	91.5	163.4	17.2	0.1	9.7	1.0	334.7
1987	1.3	0.0	s/p	3.5	103.7	31.8	494.2	310.0	44.8	78.2	0.2	0.0	1,067.7
1986	1.9	0.1	0.1	132.3	241.7	131.2	9.1	153.7	1.5	2.7	117.9	0.2	792.4
1985	1.8	0.2	9.4	2.9	62.2	62.3	83.7	s/p	22.4	11.7	0.6	0.4	257.6
1984	0.0	0.0	4.0	5.7	236.2	76.9	612.0	110.3	92.1	20.2	2.3	1.0	1,160.7
1983	6.0	s/p	s/p	0.1	111.5	152.3	171.9	149.1	21.6	4.2	1.0	3.4	621.1
1982	s/p	0.0	28.7	0.3	190.9	529.6	232.4	93.3	37.1	53.6	s/p	0.0	1,165.9
1981	0.0	0.0	2.8	3.0	448.2	69.1	28.5	94.6	18.0	4.4	1.8	s/p	670.4
1980	0.0	0.0	77.2	125.3	197.7	183.6	205.5	10.3	82.1	0.0	1.5	0.0	883.2
PROMEDIO	**1,7022**	**1,71**	**6,38**	**20,58**	**90,55**	**138,66**	**107,96**	**82,37**	**34,71**	**14,8**	**6,65**	**2,92**	**475,38**

ANEXO 8: Cotizaciones de productos

BIOPLASTIC
Tratamiento y Almacenamiento de Aguas

Polietilenos
Bioplastic Chile Spa
77.704.270-K
22 715 5200
INFO@BIOPLASTIC.CL
CAMINO SANTA SOFIA S/N PARCELA 1 CALERA DE TANGO R.M.
www.bioplastic.cl

Señores :
RUT :
Atención :
Correo :
Teléfono :
Vendedor :
Centro : BI16 - Bioplastic Quilpue
Of. Ventas : 0002 - Ofic Ventas Santiago

Fecha de emisión : 30.10.2024

OFERTA DE VENTAS
N° 2030348662

De acuerdo a lo solicitado, tenemos el agrado cotizar a usted, lo que a continuación se detalla:

#	Código	Descripción	Cant.	UM	Prc. Unitario	Dscto. %	Total
1	EVEX2400	Estanque Vertcal Extrareforzado 2400 lts	1	UND	468.425	20,000	374.740

Condición de : D000 - Contado
Vía de pago : Efectivo ing
Oferta válida : 06.11.2024
Ind.Gestion : 0001 - Cliente retira Guia con Despacho Normal

Total Neto	374.740
IVA 19%	71.201
Total	445.941

SODIMAC

Inicia sesión

Categorías

Buscar en Sodimac

Entrega en Quilpué

Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Bombas De Agua Y Motobombas



PEDROLLO

Electrobomba centrífuga 0,3 HP 60 l/min

(0) Evaluar

$ 229.990 / Unidad

Vendido por Sodimac

HOMEVAN

Buscador de productos

$0

INICIO | OUTLET (HASTA 50%) | PISCINA | RIEGO EFICIENTE | JARDÍN | HERRAMIENTAS DE JARDÍN | BOMBAS DE AGUA | CONTROL DE PLAGAS | HERRAMIENTAS | BLOG | ¿BUSCAS AYUDA?

-20%



Inicio / Todo el Outlet / Outlet Riego Eficiente / PLANSA 1" 100 MTS

PLANSA 1" 100 MTS

Genérico

~~$69.990~~ $55.990

Ahorras $14.000

✓ 2 disponibles

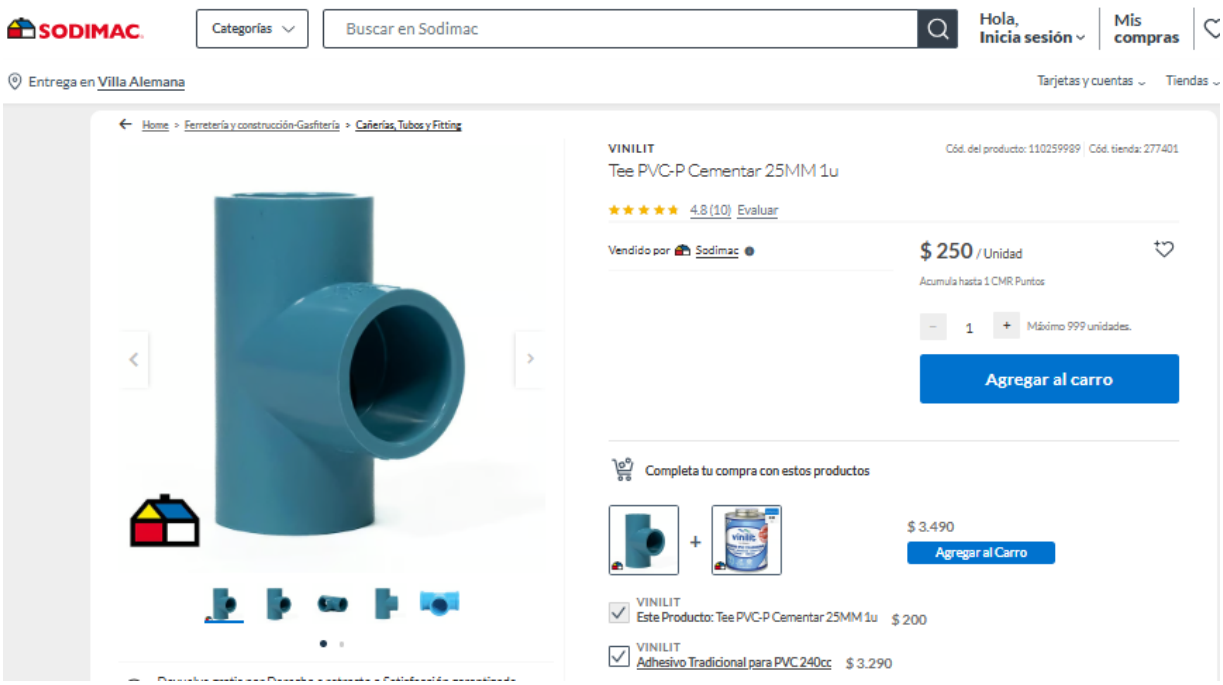
- 1 + AGREGAR AL CARRITO

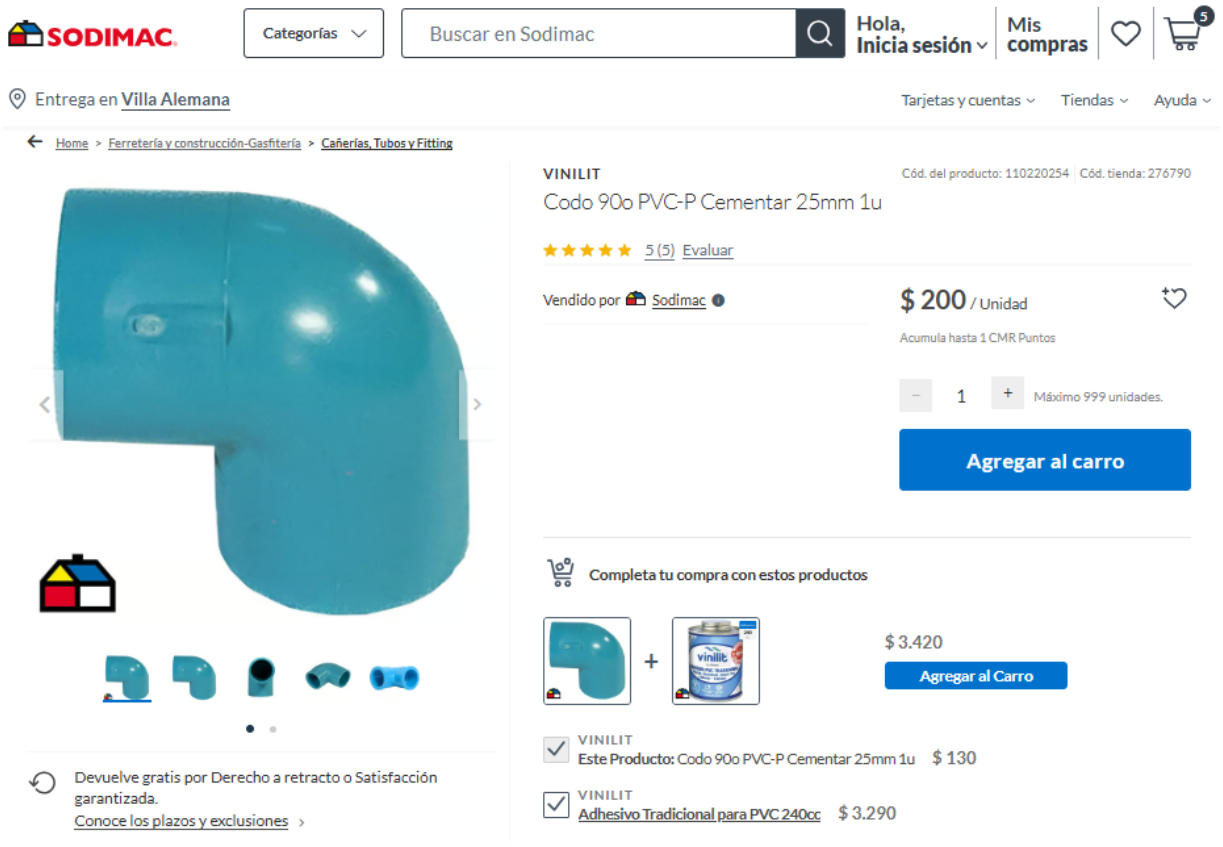
Medios de pago:

webpay PLUS — *Hasta 6 cuotas sin interés*

mercado pago — *Tarjeta débito o RedCompra y Tarjeta de crédito*

FLOW — *Paga mediante Khipu - Mach - Klap - Red pay - Check*


SODIMAC
Categorías
Buscar en Sodimac
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Villa Alemana
Tarjetas y cuentas
Tiendas
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
VINILIT
Tee PVC-P Cementar 25MM 1u
Cód. del producto: 110259989 | Cód. tienda: 277401
4.8 (10) Evaluar
Vendido por Sodimac
$ 250 / Unidad
Acumula hasta 1 CMR Puntos
1
Máximo 999 unidades.
Agregar al carro
Completa tu compra con estos productos
$ 3.490
Agregar al Carro
VINILIT
Este Producto: Tee PVC-P Cementar 25MM 1u $ 200
VINILIT
Adhesivo Tradicional para PVC 240cc $ 3.290


SODIMAC
Categorías
Buscar en Sodimac
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Villa Alemana
Tarjetas y cuentas
Tiendas
Ayuda
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
VINILIT
Codo 90o PVC-P Cementar 25mm 1u
Cód. del producto: 110220254 | Cód. tienda: 276790
5 (5) Evaluar
Vendido por Sodimac
$ 200 / Unidad
Acumula hasta 1 CMR Puntos
1
Máximo 999 unidades.
Agregar al carro
Completa tu compra con estos productos
$ 3.420
Agregar al Carro
VINILIT
Este Producto: Codo 90o PVC-P Cementar 25mm 1u $ 130
VINILIT
Adhesivo Tradicional para PVC 240cc $ 3.290
Devuelve gratis por Derecho a retracto o Satisfacción garantizada.
Conoce los plazos y exclusiones

SODIMAC

Categorías

Buscar en Sodimac

Hola, Inicia sesión

Mis compras

Entrega en Villa Alemana

Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting



VINILIT

Cód. del producto: 110219871 | Cód. tienda: 277258

Codo 45o PVC-P Cementar 25mm 1u

★★★★★ 5 (1) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 790 / Unidad

Acumula hasta 5 CMR Puntos

1 Máximo 999 unidades.

Agregar al carro

Completa tu compra con estos productos



$ 3.980

Agregar al Carro

VINILIT

Este Producto: Codo 45o PVC-P Cementar 25mm 1u $ 690

SODIMAC

Categorías

Buscar en Sodimac

Hola, Inicia sesión

Mis compras

Entrega en Villa Alemana

Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting



VINILIT

Cód. del producto: 110279332 | Cód. tienda: 274194

Tubo PVC-P 25mm x 6m PN-12,5 Cementar

★★★★★ 4.9 (21) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 4.090 / Unidad

Acumula hasta 27 CMR Puntos

1 Máximo 999 unidades.

Agregar al carro

Completa tu compra con estos productos



$ 7.080

Agregar al Carro

SODIMAC

Categorías

Buscar en Sodimac

Hola, Inicia sesión

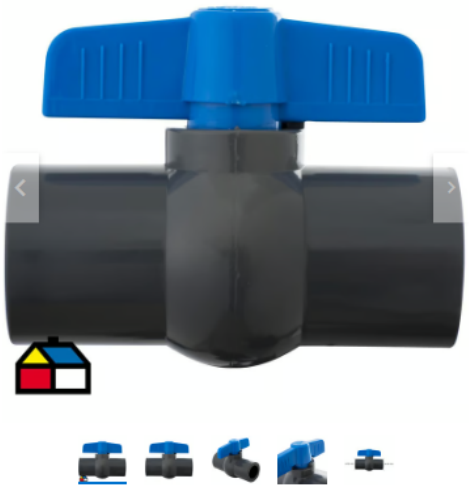
Mis compras

7

Entrega en Villa Alemana

Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Llaves y Válvulas de Agua y Gas



VINILIT

Válvula bola 25 mm PVC

Cód. del producto: 110260702 | Cód. tienda: 3310396

4.5 (11) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 3.990 / Unidad

Acumula hasta 26 CMR Puntos

1 Máximo 999 unidades.

Agregar al carro

Completa tu compra con estos productos



$ 3.820

Agregar al Carro

VINILIT
Este Producto: Válvula bola 25 mm PVC $ 3.690

VINILIT
Codo 90o PVC-P Cementar 25mm 1u $ 130

Devuelve gratis por Derecho a retracto o Satisfacción garantizada.
Conoce los plazos y exclusiones

SODIMAC

Categorías

Buscar en Sodimac

Hola, Inicia sesión

Mis compras

2

Entrega en Villa Alemana

Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting



HOFFENS

Tubo PVC gris 75 mm 3 mt

Cód. del producto: 135554379 | Cód. tienda: 7591268

(0) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 7.290 / Unidad

Acumula hasta 48 CMR Puntos

1 Máximo 999 unidades.

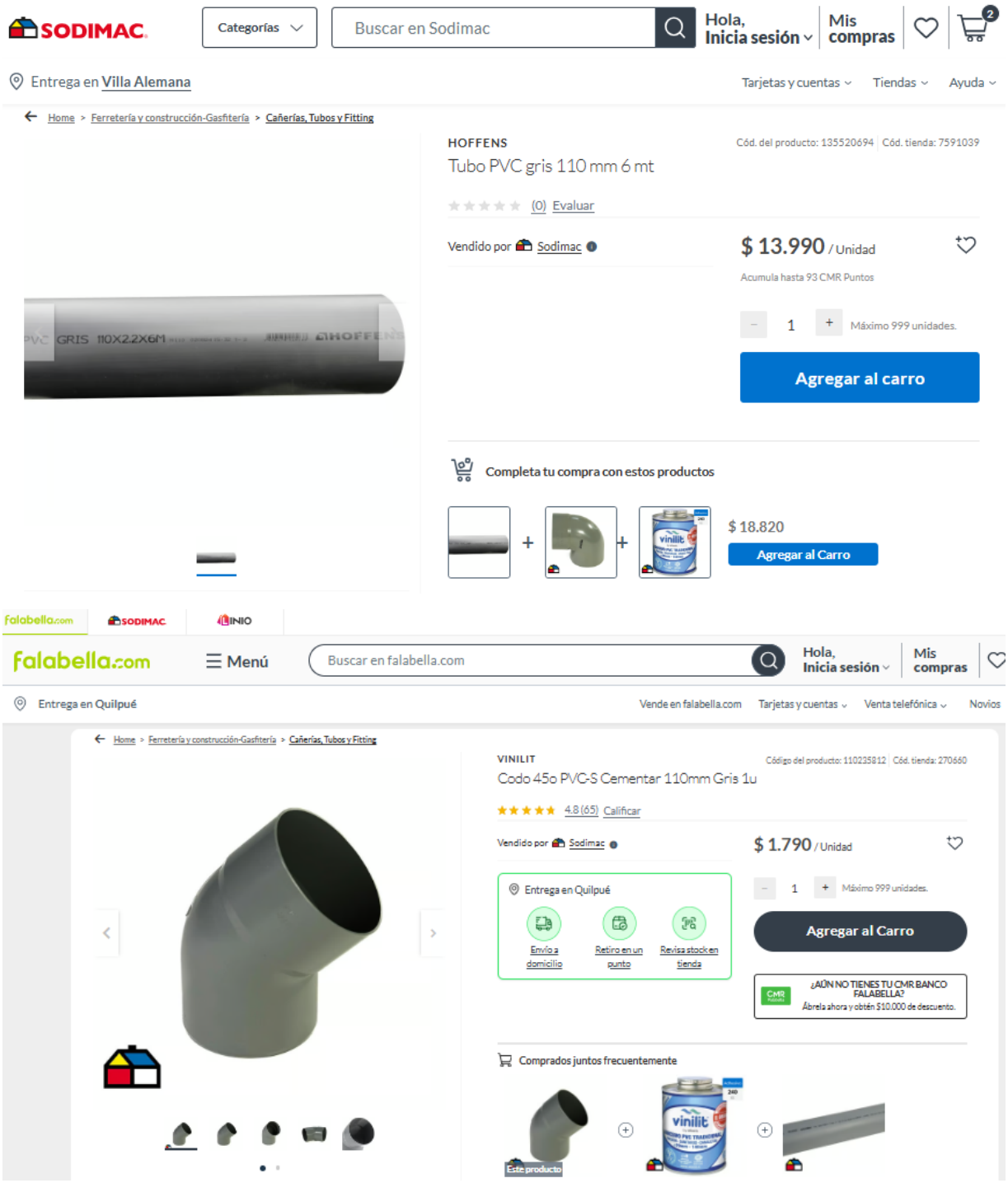
Agregar al carro

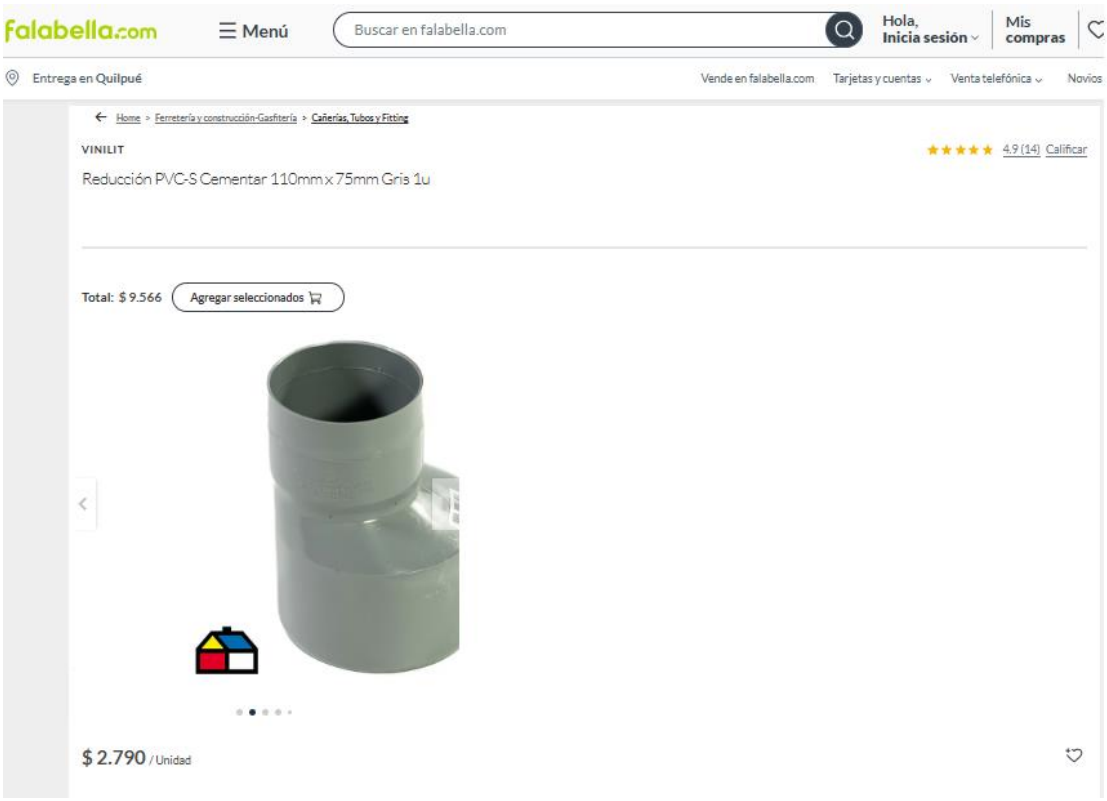
Completa tu compra con estos productos

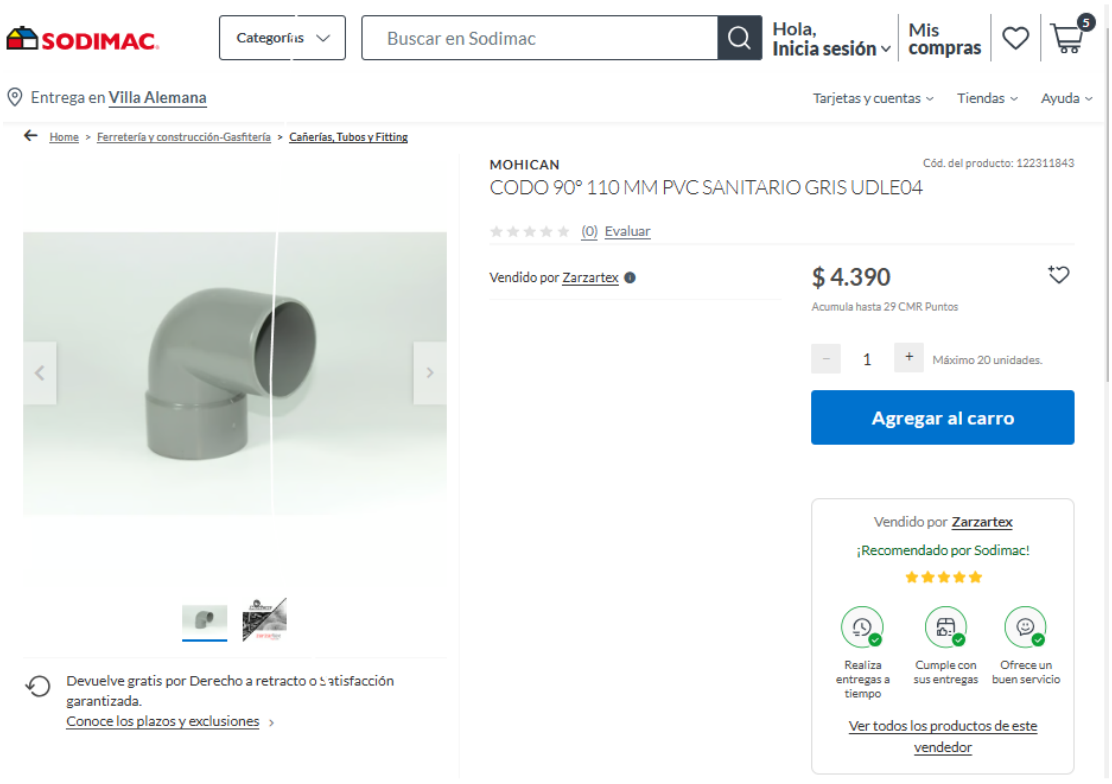


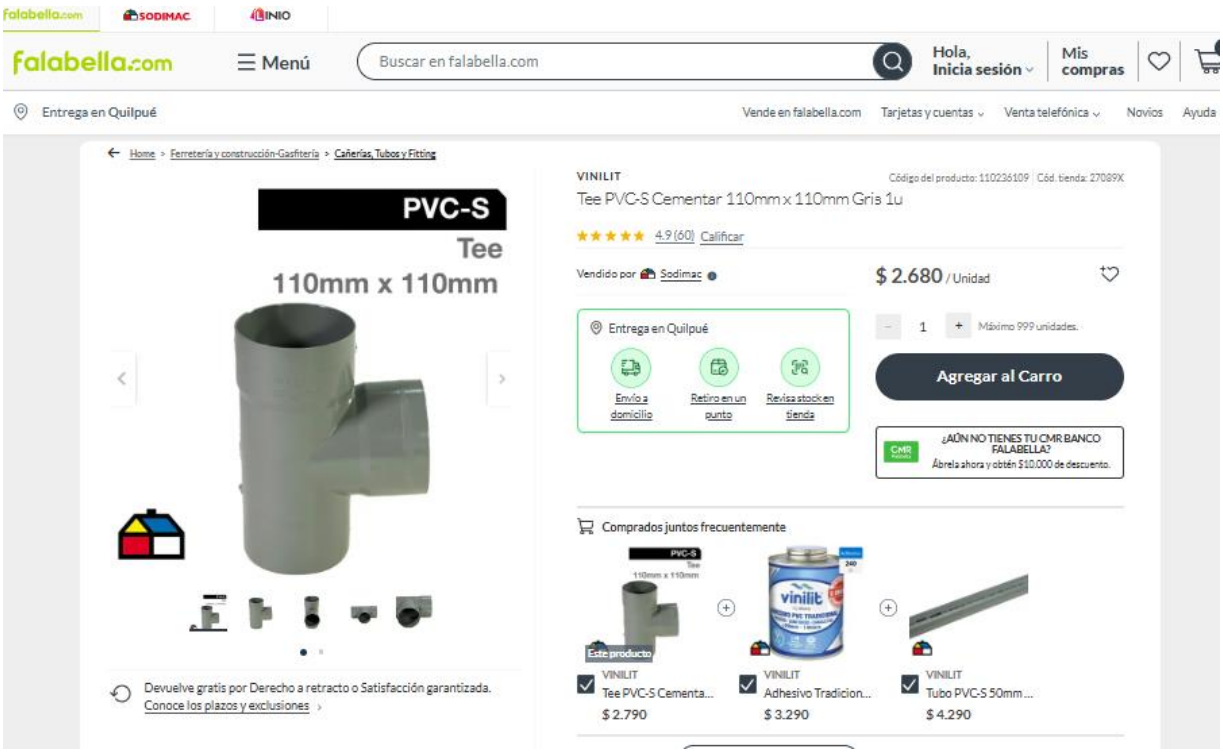
$ 11.200

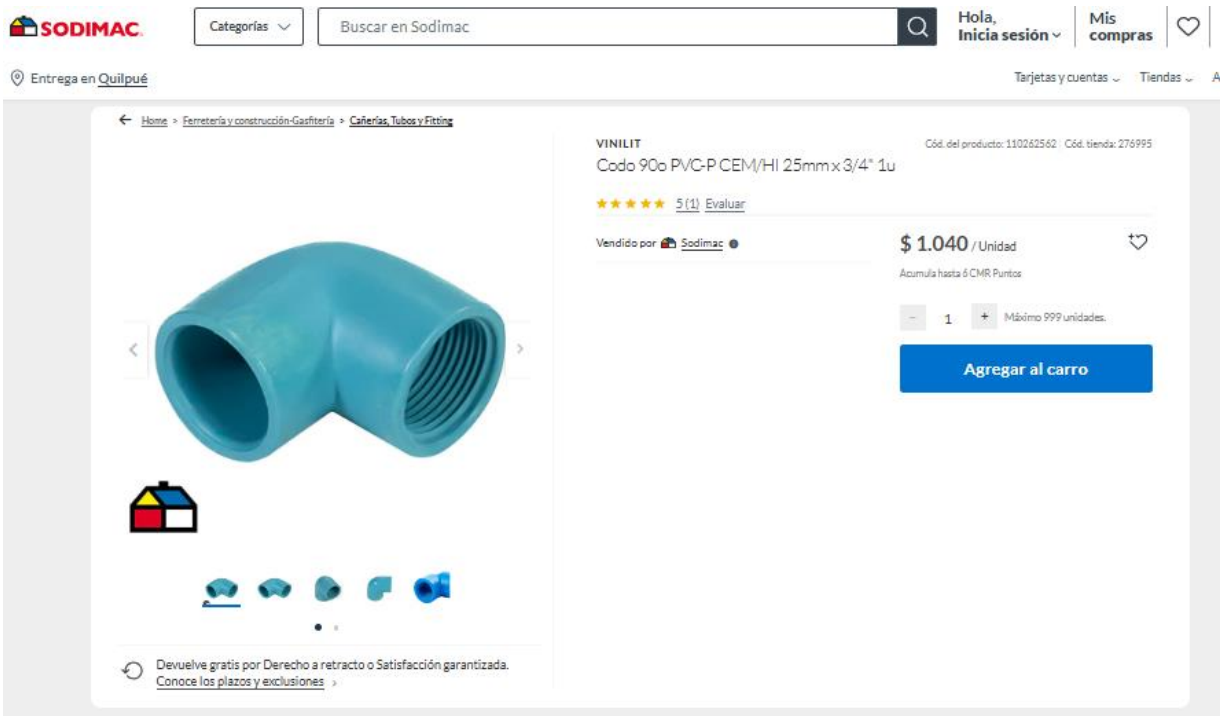
Agregar al Carro


SODIMAC
Categorías
Buscar en Sodimac
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Villa Alemana
Tarjetas y cuentas
Tiendas
Ayuda
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
HOFFENS
Cód. del producto: 135520694 | Cód. tienda: 7591039
Tubo PVC gris 110 mm 6 mt
(0) Evaluar
Vendido por Sodimac
$ 13.990 / Unidad
Acumula hasta 93 CMR Puntos
1
Máximo 999 unidades.
Agregar al carro
Completa tu compra con estos productos
$ 18.820
Agregar al Carro
falabella.com
SODIMAC
LINIO
falabella.com
Menú
Buscar en falabella.com
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Quilpué
Vende en falabella.com
Tarjetas y cuentas
Venta telefónica
Novios
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
VINILIT
Código del producto: 110235812 | Cód. tienda: 270660
Codo 45o PVC-S Cementar 110mm Gris 1u
4.8 (65) Calificar
Vendido por Sodimac
$ 1.790 / Unidad
Entrega en Quilpué
Envío a domicilio
Retiro en un punto
Revisa stock en tienda
1
Máximo 999 unidades.
Agregar al Carro
¿AÚN NO TIENES TU CMR BANCO FALABELLA?
Ábrela ahora y obtén $10.000 de descuento.
Comprados juntos frecuentemente
Este producto


falabella.com
Menú
Buscar en falabella.com
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Quilpué
Vende en falabella.com
Tarjetas y cuentas
Venta telefónica
Novios
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
VINILIT
4,9 (14) Calificar
Reducción PVC-S Cementar 110mm x 75mm Gris 1u
Total: $ 9.566
Agregar seleccionados
$ 2.790 / Unidad


SODIMAC
Categorías
Buscar en Sodimac
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Villa Alemana
Tarjetas y cuentas
Tiendas
Ayuda
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
MOHICAN
Cód. del producto: 122311843
CODO 90° 110 MM PVC SANITARIO GRIS UDLE04
(0) Evaluar
Vendido por Zarzartex
$ 4.390
Acumula hasta 29 CMR Puntos
1
Máximo 20 unidades.
Agregar al carro
Vendido por Zarzartex
¡Recomendado por Sodimac!
Realiza entregas a tiempo
Cumple con sus entregas
Ofrece un buen servicio
Ver todos los productos de este vendedor
Devuelve gratis por Derecho a retracto o satisfacción garantizada.
Conoce los plazos y exclusiones


falabella.com
SODIMAC
FINIO
falabella.com
Menú
Buscar en falabella.com
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Quilpué
Vende en falabella.com
Tarjetas y cuentas
Venta telefónica
Novios
Ayuda
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
PVC-S
Tee
110mm x 110mm
VINILIT
Código del producto: 110236109 | Cód. tienda: 27089X
Tee PVC-S Cementar 110mm x 110mm Gris 1u
4.9 (60) Calificar
Vendido por Sodimac
$ 2.680 / Unidad
Entrega en Quilpué
Envío a domicilio
Retiro en un punto
Revisa stock en tienda
1
Máximo 999 unidades.
Agregar al Carro
¿AÚN NO TIENES TU CMR BANCO FALABELLA?
Ábrela ahora y obtén $10.000 de descuento.
Comprados juntos frecuentemente
Este producto
VINILIT
Tee PVC-S Cementa...
$ 2.790
VINILIT
Adhesivo Tradicion...
$ 3.290
VINILIT
Tubo PVC-S 50mm ...
$ 4.290
Devuelve gratis por Derecho a retracto o Satisfacción garantizada.
Conoce los plazos y exclusiones


SODIMAC
Categorías
Buscar en Sodimac
Hola, Inicia sesión
Mis compras
Entrega en Quilpué
Tarjetas y cuentas
Tiendas
Home > Ferretería y construcción-Gasfitería > Cañerías, Tubos y Fitting
VINILIT
Cód. del producto: 110262562 | Cód. tienda: 276995
Codo 90o PVC-P CEM/HI 25mm x 3/4" 1u
5 (1) Evaluar
Vendido por Sodimac
$ 1.040 / Unidad
Acumula hasta 6 CMR Puntos
1
Máximo 999 unidades.
Agregar al carro
Devuelve gratis por Derecho a retracto o Satisfacción garantizada.
Conoce los plazos y exclusiones

ESTÁS EN: **EL BELLOTO** ¿Cambiar de tienda?

CONSTRUMART
PROFESIONALES DE LA CONSTRUCCIÓN

CATEGORÍAS ¿Qué buscas hoy?

PVC Presión HE-HI 3/4 x 1/2



SKU: 29676

Hoffens

BUJE REDUCCIÓN PVC PRESIÓN HE-HI 3/4 X 1/2"

$590c/u

HASTA 3 CUOTAS DE $197 SIN INTERÉS

\- 1 +

AGREGAR AL CARRO

Ayuda

Polo Aridos

9 9999 3690

Alicante 187, Villa Alemana

Áridos por metro cúbico



Tierra Vegetal Harneada
CLP 18,000



Grava/Huevillo/Ripio
CLP 22,000



Gravilla
CLP 28,000



Arena de Planta
CLP 31,000



Base Estabilizada
CLP 23,000



Maicillo
CLP 12,000



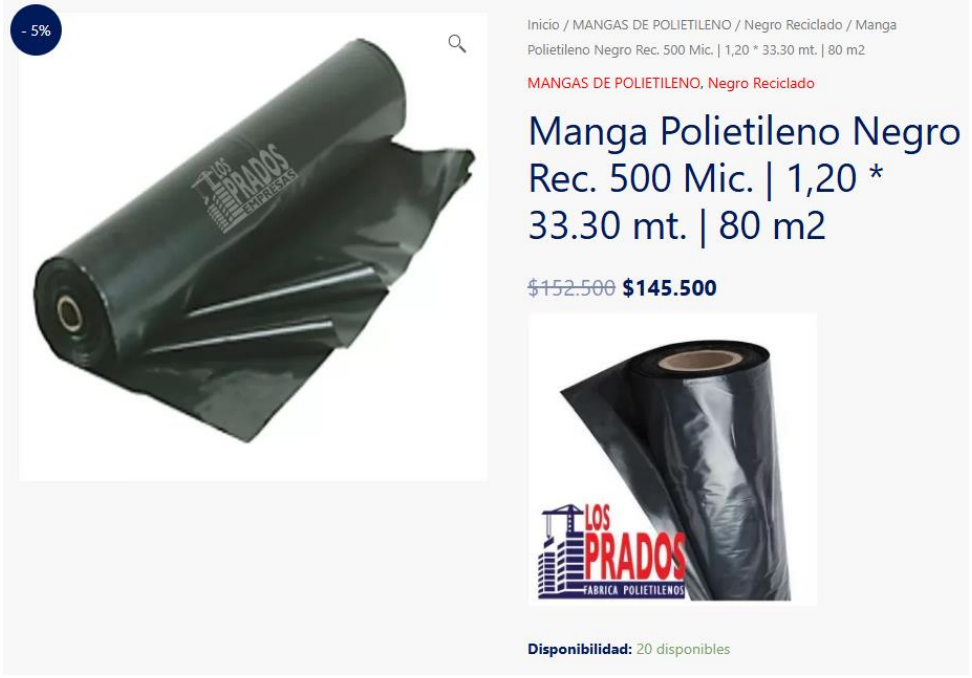
Bolón
CLP 28,000

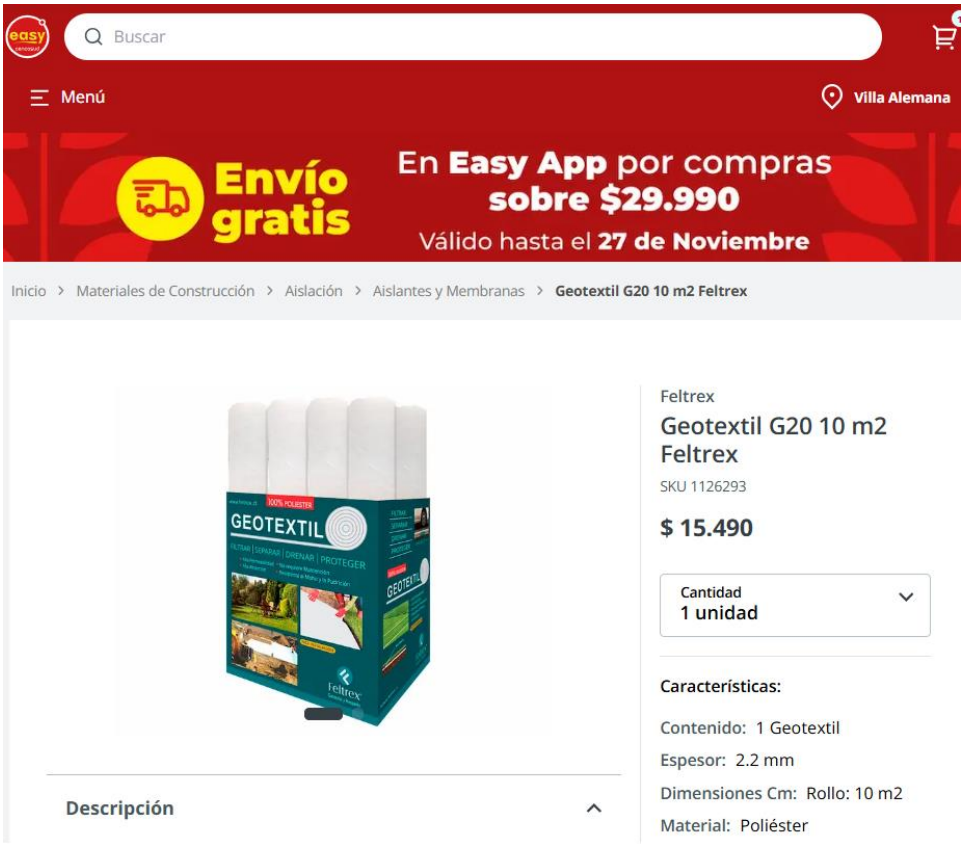


Arena Rubia
CLP 21,000



Arena De Duna
CLP 22,000


- 5%
Inicio / MANGAS DE POLIETILENO / Negro Reciclado / Manga Polietileno Negro Rec. 500 Mic. | 1,20 * 33.30 mt. | 80 m2
MANGAS DE POLIETILENO, Negro Reciclado
Manga Polietileno Negro Rec. 500 Mic. | 1,20 * 33.30 mt. | 80 m2
$152.500 $145.500
Disponibilidad: 20 disponibles


Buscar
Menú
Villa Alemana
Envío gratis
En Easy App por compras sobre $29.990
Válido hasta el 27 de Noviembre
Inicio > Materiales de Construcción > Aislación > Aislantes y Membranas > Geotextil G20 10 m2 Feltrex
Feltrex
Geotextil G20 10 m2 Feltrex
SKU 1126293
$ 15.490
Cantidad
1 unidad
Características:
Contenido: 1 Geotextil
Espesor: 2.2 mm
Dimensiones Cm: Rollo: 10 m2
Material: Poliéster
Descripción



PALUSTRES • COD. TRIANGULAR

Totora triangular (Schoenoplectus californicus)

$3.000,00

Pedir por

$3.000,00 Añadir artículo +

SODIMAC | Categorías | Buscar en Sodimac | Hola, Inicia sesión | Mis compras | 0

Entrega en Quilpué | Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Adhesivos > Adhesivo para PVC



Devuelve gratis por Derecho a retracto o Satisfacción garantizada.
Conoce los plazos y exclusiones >

VINILIT
Cód. del producto: 110298451 | Cód. tienda: 2721376

Adhesivo Tradicional para PVC 240cc

4.7 (87) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 3.690 / Unidad

Acumula hasta 24 CMR Puntos

+PRO 5% sobre 3un

1 Máximo 999 unidades.

Agregar al carro

Completa tu compra con estos productos



$ 3.630

Agregar al Carro

VINILIT
Este Producto: Adhesivo Tradicional para PVC 240cc $ 3.290

VINILIT
Codo 87,5o PVC-S Cementar 50mm Gris 1u $ 340

SODIMAC | Categorías | Buscar en Sodimac | Hola, Inicia sesión | Mis compras | 11

Entrega en Villa Alemana | Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Electricidad > Temporizadores, Timers y Sensores



COMPLETEL
Cód. del producto: 110269515 | Cód. tienda: 101451

Timer digital enchufable semanal y diario programable

4.8 (51) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 14.890 / Unidad

Acumula hasta 99 CMR Puntos

ECO

1 Máximo 999 unidades.

Agregar al carro

SODIMAC

Categorías

Buscar en Sodimac

Hola, Inicia sesión

Mis compras

0

Entrega en Villa Alemana

Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Herramientas y máquinas > Herramientas y maquinaria de jardín



MIDWEST Cód. del producto: 120403089 | Cód. tienda: 8887500

Guantes jardín poliester/algodón

(0) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 4.990 / Unidad

Acumula hasta 33 CMR Puntos

1 Máximo 999 unidades.

Agregar al carro

SODIMAC

Categorías

Buscar en Sodimac

Hola, Inicia sesión

Mis compras

30

Entrega en Villa Alemana

Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Ropa de Seguridad y Protección Personal > Ropa de Trabajo



ALASKA Cód. del producto: 110301660 | Cód. tienda: 2609185

Overol poplin azul marino con cinta reflectiva talla s

4.5 (112) Evaluar

Vendido por Sodimac

$ 10.290 / Unidad

Acumula hasta 68 CMR Puntos

Selecciona Talla

S M L XL

1 Máximo 999 unidades.

Elige tus opciones

SODIMAC

Categorías

Buscar en Sodimac

Hola, Inicia sesión

Mis compras

30

Entrega en Villa Alemana

Tarjetas y cuentas | Tiendas | Ayuda

Home > Ferretería y construcción-Ropa de Seguridad y Protección Personal > Zapatos de Seguridad



BATA INDUSTRIALS

Cód. del producto: 110294140 | Cód. tienda: 5696976

Zapato de Seguridad Hombre Talla 42 Eagle Nubuck

★★★★★ 4.8 (26) Evaluar

Vendido por Sodimac

Selecciona Talla

39 40 41 42 43 44

$ 29.990 / Unidad -32%

$ 44.290 / Unidad

Acumula hasta 199 CMR Puntos

− 1 + Máximo 999 unidades.

Elige tus opciones