

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO - CHILE



**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE
ALMACENAMIENTO DE AGUA DE CANAL PARA RIEGO EN LA
ESCUELA PASO HISTÓRICO EN LA COMUNA DE PUTAENDO**

GUILLERMO ANDRÉS GAETE LAGOS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

PROFESORA GUÍA:
Camila Mery Araya

PROFESOR CORREFERENTE:
Daniel Ramírez Livingston

JULIO 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Diseño y optimización de un sistema de almacenamiento de agua de canal para riego en la Escuela Paso Histórico en la comuna de Putaendo

Nombre del candidato(a): Guillermo Gaete Lagos

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Ambiental

Campus: Casa Central Valparaíso ; **Departamento:** Ingeniería Química y Ambiental

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Camila Mery Araya, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29/07/2025

; Firma:

Camila Mery

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/07/2025

; Firma:

Guillermo Gaete

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

A mi familia, por estar siempre a mi lado y apoyarme en cada paso que doy. Gracias mamá por todo lo que me has dado y por ser mi fuente constante de inspiración, te dedico todos mis logros. A mi papá, gracias por estar conmigo también en cada momento, he aprendido mucho de ti y espero seguir haciéndolo a lo largo de mi vida.

A mis amigos bizcochitos, por estar junto a mí en las buenas y en las malas. Pueden contar conmigo siempre, aunque nos encontremos a más de 1000 km de distancia. Gracias por cada momento que vivimos juntos, las risas, los llantos, los viajes, las salidas y más. Domi, Dani, Cata, Benja, Mati y Chris, siempre estarán en mi corazón.

A Max, por tu gran amistad y por tu apañe incondicional siempre. Gracias por dedicar de tu tiempo y por aportar con tus conocimientos y habilidades en el diseño a este trabajo. Espero que los miércoles y todas nuestras locuras sean eternas.

A Marcos, por ser un apoyo constante durante este último año y por haber aceptado madrugar y manejar hasta Putaendo, aunque no estaba en los planes. Gracias por animarme cada vez que lo necesito y por tu compañía a pesar de la distancia.

A mis profesores, quienes fueron clave en mi formación. He aprendido muchísimo de ustedes durante los años de universidad, como en el proceso de esta memoria. Gracias, profesor Daniel Ramírez y Camila Mery, por su dedicación y por confiar en mí.

A Andrea Granados y Pablo Miranda, quienes dieron la cara por este proyecto. Gracias por darme la oportunidad de ser parte de él, por permitirme aprender de mis compañeras, de ustedes y de los profesores que participaron en esto. Este proyecto no habría sido lo mismo sin su guía y confianza.

Finalmente, gracias a todas las personas con las que compartí durante estos años. Me llevo recuerdos muy especiales de todos los momentos que hemos vivido. Aunque no los nombre directamente, estoy profundamente agradecido de haber tenido la oportunidad de conocer a personas tan maravillosas. Muchas gracias a todos.

Resumen ejecutivo

La región de Valparaíso, especialmente la comuna rural de Putaendo, enfrenta una crisis hídrica significativa producto del cambio climático, la disminución de precipitaciones y el aumento de la demanda, principalmente en el sector agrícola. Esta situación afecta a las comunidades locales y a instituciones como las escuelas rurales, que tienen dificultades para garantizar un suministro de agua sostenible para sus cultivos y áreas verdes.

La Escuela General Básica Paso Histórico El Tártaro ejemplifica este desafío. Aunque cuenta con derechos de uso sobre un canal de riego cercano, enfrenta limitaciones para aprovechar eficazmente el agua disponible debido a horarios restrictivos y falta de capacidad de almacenamiento, lo que la obliga a depender de fuentes de agua potable para riego, un uso poco eficiente que implica un consumo innecesario.

Para abordar esta problemática, se propone diseñar y optimizar un sistema de almacenamiento de agua que permita captar y acumular el recurso proveniente del canal, facilitando su uso autónomo y eficiente durante los ciclos de distribución. El sistema consiste en un estanque de polietileno de 3.400 litros, operado mediante un sistema de bombeo solar con sensores automáticos, lo que reduce la dependencia de la red eléctrica. Además, se realizaron análisis rigurosos de la calidad del agua, confirmando su idoneidad para riego según la normativa chilena vigente.

La implementación del sistema busca disminuir la dependencia del agua potable, optimizar el uso del agua para riego de huertos y jardines educativos, y fomentar una cultura de gestión responsable del recurso hídrico en la comunidad escolar. El costo estimado total del proyecto es de 1.761.155 CLP, incluyendo equipos, materiales, envío y mano de obra.

Los resultados obtenidos muestran que esta solución sostenible es viable y replicable en contextos rurales con problemas similares de escasez hídrica. Más allá de solucionar un problema inmediato, el proyecto promueve la educación ambiental y la participación comunitaria en el manejo sustentable del agua.

En conclusión, el sistema autónomo de almacenamiento y bombeo solar propuesto representa una respuesta práctica y escalable a la crisis hídrica que afecta a la Escuela Paso Histórico El Tártaro, fortaleciendo su capacidad de adaptación y promoviendo prácticas sostenibles que benefician tanto al entorno educativo como a la comunidad en general.

Glosario

APR: Agua Potable Rural.

CLP: Pesos chilenos.

DGA: Dirección General de Aguas.

NCh: Norma Chilena.

NMP: Número más probable.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

OD: Oxígeno disuelto.

PRCPTOT: Índice de precipitación anual.

P/A: Presencia/Ausencia.

SSR: Servicios Sanitarios Rurales.

TDS: Sólidos disueltos totales.

Índice general

1	Resumen ejecutivo	2
2	Glosario	3
3	Introducción	9
	Objetivo general	10
	Objetivos específicos	11
	Alcances	11
4	Marco teórico	12
	Gestión hídrica y derecho de aprovechamiento de agua	12
	Sistemas de abastecimiento de agua	14
	Calidad y variabilidad estacional del agua	16
	Sistemas fotovoltaicos	17
	Educación ambiental y la participación comunitaria	17
5	Marco legislativo	20
	Norma Chilena 1333/1987 modificada en 1987	20
6	Contexto	24
	Localidad	24
	Establecimiento educacional	27
	Recurso hídricos	32
	Gestión y demanda hídrica	34
	Sistemas de Agua Potable Rural	36
	Variabilidad estacional	37
7	Metodología	41
	Identificación de la problemática	41
	Recolección de datos	42
	Solución propuesta	43
	Diseño del sistema de almacenamiento de agua	44
	Impacto ambiental y sostenibilidad	47
8	Resultados	48
	Análisis de calidad del agua	48
	Diseño del sistema de almacenamiento	49
9	Conclusiones	57

10 Recomendaciones	58
11 Referencias	59
12 Anexos	66

Índice de figuras

Figura 1: Certificación Ambiental para Establecimientos Educativos otorgada por el SNCAE (Ministerio del Medio Ambiente, 2024c)	19
Figura 2: Mapa de las comunas del Valle del Aconcagua (Mi Valle de Aconcagua, 2024)	25
Figura 3: Mapa de la distribución de los suelos con aptitud agrícola (Rulamañue, 2024)	26
Figura 4: Ubicación Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro (Google, 2024)	28
Figura 5: Ubicación y delimitación del terreno cultivable de la escuela (Google, 2024)	29
Figura 6: Invernaderos instalados en el terreno cultivable de la escuela. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025	29
Figura 7: Estanque de almacenamiento y filtros del sistema de reutilización de aguas grises de la escuela. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025 . .	30
Figura 8: Estación meteorológica Los Tártaros. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025	31
Figura 9: Entrada del canal y canales de distribución dentro del terreno. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025	32
Figura 10: Ubicación del Embalse Chacrilla (Palmisano, 2020)	33
Figura 11: Demanda hídrica superficial para riego en la Región de Valparaíso, a nivel de cuenca y por grupos de cultivos en la cuenca principal (Fundación para la Innovación Agraria, 2022)	34
Figura 12: Proyección de la demanda hídrica consuntiva en la Región de Valparaíso (Fundación para la Innovación Agraria, 2022)	35
Figura 13: Índice de precipitación anual desde 1981 en la Estación San Felipe Escuela Agrícola (Dirección Meteorológica de Chile, 2024)	38
Figura 14: Datos históricos sobre las condiciones meteorológicas de Putaendo durante 2023 (meteoblue, 2024)	39
Figura 15: Ubicación propuesta para el sistema de almacenamiento de agua en el terreno cultivable del establecimiento (Google, 2024)	45
Figura 16: Diagrama del diseño del sistema de almacenamiento de agua . . .	50
Figura 17: Vista en planta del diseño del sistema de almacenamiento de agua	51
Figura 18: Medidor de pH utilizado. Elaboración propia, 03 de abril de 2025	66
Figura 19: Medidor de oxígeno disuelto utilizado. Elaboración propia, 03 de abril de 2025	67

Figura 20: Medidor multiparámetro utilizado para el análisis de las variables físico-químicas. Elaboración propia, 03 de abril de 2025	67
Figura 21: Estanque vertical estándar 3.400 L Bioplastic (Bioplastic, 2024) .	68
Figura 22: Electrobomba centrífuga 1 HP, caudal máximo 100 L/min Connor (Sodimac, 2024c)	68
Figura 23: Electrobomba sumergible 0,67 HP 167 L/min Humboldt (Sodimac, 2024d)	69
Figura 24: Malla N°4 galvanizada harnero 0,60 x 1,5 m (Sodimac, 2025) . . .	69
Figura 25: Controlador electrónico de presión Bestflow (Sodimac, 2024b) . .	70
Figura 26: Válvula de retención UPVC 32 mm Aguaplanet (Aguaplanet, 2024)	70
Figura 27: Interruptor de nivel 3 m Bestflow (Sodimac, 2024e)	71
Figura 28: Tubo PN-10 Cementar PVC Agua 32 mm x 6 m (Sodimac, 2024g)	71
Figura 29: Codo 90° PVC-P Cementar 32 mm (Sodimac, 2024a)	72
Figura 30: Llave bola jardín 1/2" Flustem (Easy, 2024)	72
Figura 31: Terminal PVC-P CEM/HE 32 mm x 1" (Sodimac, 2024f)	73
Figura 32: Panel solar Enertik monocristalino 100 W (Enertik, 2024b)	73
Figura 33: Inversor-cargador MPPT híbrido (backup 12 V) – 220 V 1500 W (Enertik, 2024a)	74
Figura 34: Caja batería BlackSun 200 Ah 12 (Vitel Energía, 2025)	74

Índice de tablas

Tabla 1: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego (Instituto Nacional de Normalización, 1987)	22
Tabla 2: Clasificación de aguas para riego según su salinidad (Instituto Na- cional de Normalización, 1987)	23
Tabla 3: Consumo mensual de agua en el año 2023	37
Tabla 4: Resultados del análisis físico-químico de calidad del agua	48
Tabla 5: Resultados del análisis biológico de calidad del agua	48
Tabla 6: Presupuesto estimado para los equipos y materiales del sistema de almacenamiento de agua	56

Introducción

Chile enfrenta una crisis hídrica significativa que afecta a diversas regiones, especialmente en las zonas rurales. A pesar de ser considerado un país con relativa abundancia hídrica, su distribución es sumamente desigual, con una alta concentración de agua en el sur y una creciente escasez en las zonas norte y centro del país. Factores como el cambio climático y la falta de gestión adecuada han exacerbado esta problemática, provocando una disminución sustancial en las precipitaciones en la zona centro-norte en comparación con promedios históricos, lo que genera periodos de sequía más frecuentes y prolongados (Fundación Amulén, 2021; Grupo Medioambiental del Sistema de las Naciones Unidas en Chile, 2021). Esta situación no solo afecta la disponibilidad de agua para consumo humano, sino que también tiene un impacto directo en sectores productivos clave, como la agricultura y la minería, así como en el bienestar de las comunidades rurales, quienes dependen en gran medida de fuentes no convencionales, como pozos o camiones aljibes (Fundación Amulén, 2021).

La Región de Valparaíso, y en particular la comuna de Putaendo, se caracteriza por una geografía que incluye zonas de clima semiárido y mediterráneo, con veranos secos e inviernos suaves. Esta región depende de las aguas subterráneas y del escurrimiento de sus canales, los cuales se alimentan de ríos que reciben un volumen variable de precipitaciones. Sin embargo, el cambio climático ha provocado una disminución en las lluvias y un incremento en las temperaturas, afectando los acuíferos y reduciendo la disponibilidad de agua en los meses de verano (Grupo Medioambiental del Sistema de las Naciones Unidas en Chile, 2021). En Putaendo, donde la agricultura es una actividad vital para la comunidad, esta dependencia del agua subterránea y el flujo estacional plantea grandes desafíos para el riego de cultivos y la sostenibilidad de las áreas verdes en instituciones como las escuelas rurales, lo cual resalta la necesidad de soluciones innovadoras y sostenibles para la gestión del agua.

El clima de Putaendo está fuertemente influenciado por la cordillera de los Andes, lo que genera una mayor precipitación en las zonas montañosas (sobre 300 mm anuales) y una menor en los valles, donde predominan condiciones semiáridas. Durante enero, las temperaturas en los valles suelen superar los 30 °C, acompañadas de alta radiación solar y sequedad en el aire, con registros que han alcanzado hasta 40,5 °C en años recientes, reflejando una tendencia de aumento térmico asociada al cambio climático. Estas condiciones climáticas extremas afectan directamente la disponibilidad hídrica y la capacidad productiva de la comuna (Centro de Información de Recursos Naturales, 2024).

Además, la escasez hídrica en la Región de Valparaíso ha afectado particularmente a las zonas rurales, donde la infraestructura para el acceso al agua potable es limitada

y los recursos naturales no siempre son suficientes para cubrir las necesidades de las comunidades. Cerca del 60 % de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) en la región han experimentado interrupciones debido a condiciones de sequía y fallas operativas (Fundación Amulén, 2021). Esto ha generado un alto grado de vulnerabilidad, ya que muchas familias y escuelas deben recurrir a fuentes alternativas de agua, como camiones aljibes, lo cual eleva los costos y complica el acceso a un suministro continuo y de calidad (Grupo Medioambiental del Sistema de las Naciones Unidas en Chile, 2021).

En respuesta a esta problemática, el proyecto FSM2395, denominado “Potenciar la capacidad de adopción de soluciones prácticas y tecnológicas en las comunidades escolares rurales de nuestra región por medio de la Vinculación con el Medio en la UTFSM a la luz de las Competencias Transversales Sello declaradas”, busca mejorar la capacidad de gestión hídrica y la adopción de tecnologías sostenibles en escuelas rurales de la Región de Valparaíso. Este proyecto tiene como objetivo general fortalecer la gestión de agua en comunidades rurales afectadas, apoyando la creación de soluciones colaborativas entre la universidad y las comunidades mediante la implementación de competencias transversales (Dirección General de Vinculación con el Medio, UTFSM, 2023; Universidad Técnica Federico Santa María, 2023).

Una de las escuelas seleccionadas para ser parte del proyecto FSM2395 es la Escuela General Básica Paso Histórico, ubicada en Putaendo. Para identificar las soluciones adecuadas para esta escuela, el proyecto implementó un proceso de diagnóstico participativo que involucró a toda la comunidad escolar: profesores, asistentes de la educación, estudiantes y apoderados. Este enfoque colaborativo permitió recoger sus experiencias y percepciones sobre la escasez de agua y las medidas que ya aplicaban para enfrentarla. A través de encuestas, entrevistas y talleres, se lograron identificar tanto las limitaciones como los recursos con los que cuenta la escuela, destacando la necesidad de un sistema de almacenamiento de agua destinado al riego de áreas verdes y huertos. Esta solución, co-creada con la comunidad escolar, no solo reduce el uso de agua potable en actividades no esenciales, sino que también promueve el aprendizaje práctico sobre la gestión sostenible del agua.

Objetivo general

Con base en el diagnóstico participativo realizado y las necesidades identificadas en la Escuela General Básica Paso Histórico de Putaendo, el objetivo principal de este proyecto es desarrollar una solución sostenible de almacenamiento de agua para riego, mediante el diseño de un sistema eficiente que permita optimizar el uso del recurso hídrico, reducir la dependencia de fuentes de agua potable y fomentar prácticas de gestión hídrica responsable en la comunidad escolar. A través de esta intervención, se busca aportar una solución tangible y sostenible que responda a las condiciones

hídricas de la comunidad, alineándose con los principios de gestión eficiente de recursos promovidos en el proyecto FSM2395.

Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general planteado, se han definido los siguientes objetivos específicos, los cuales guiarán las etapas del desarrollo del proyecto:

- Analizar las características del agua proveniente del canal para determinar su adecuación para su almacenamiento y uso en el sistema de riego de la escuela.
- Diseñar el sistema de almacenamiento de agua para riego, considerando la capacidad, ubicación, materiales y tecnologías más adecuadas para optimizar la eficiencia, durabilidad y sostenibilidad del tanque de almacenamiento.
- Proponer un modelo operativo y de mantenimiento para garantizar la funcionalidad del sistema a largo plazo, con directrices claras para su operación, monitoreo y mantenimiento, asegurando su integración efectiva dentro de la comunidad escolar.

Alcances

El proyecto tiene alcances específicos en cuanto a la implementación de un sistema de almacenamiento de agua para riego. Este incluye el diseño y la optimización de un sistema de almacenamiento de agua que se abastece automáticamente a partir del agua disponible en el canal, utilizando energía renovable. La capacidad del estanque se calcula en base al caudal disponible, asegurando que el sistema sea adecuado para el uso semanal del agua destinada al riego de los invernaderos y otras áreas verdes. Además, este sistema servirá como complemento de los otros métodos de riego utilizados por la escuela, permitiendo prescindir del agua del sistema de APR para estas actividades.

El proyecto también incluye un análisis de la calidad del agua, donde se evaluarán parámetros como coliformes fecales, pH, conductividad específica, sólidos disueltos totales (TDS) y oxígeno disuelto (OD), según la normativa vigente para análisis de aguas superficiales.

Marco teórico

En el contexto de la creciente escasez hídrica que afecta a las zonas rurales de Chile, la gestión eficiente del agua se ha vuelto esencial, especialmente en comunidades educativas que dependen de recursos limitados para mantener sus áreas verdes y huertos. La variabilidad geográfica y climática del país impone importantes desafíos para la gestión de los recursos hídricos, particularmente en la zona centro-norte, donde la disponibilidad de agua es considerablemente menor que en el resto del territorio nacional (Dirección General de Aguas, 2012).

Este marco teórico aborda los conceptos y antecedentes fundamentales para el diseño de un sistema de almacenamiento de agua en la Escuela General Básica Paso Histórico de Putaendo. Se examinan temas clave como la gestión hídrica en comunidades rurales, los sistemas de almacenamiento de agua y su sostenibilidad, y la educación ambiental y participación comunitaria en la gestión del recurso. Esta base teórica proporciona el sustento necesario para comprender los desafíos y las soluciones que el proyecto busca implementar en la comunidad escolar.

Gestión hídrica y derecho de aprovechamiento de agua

En Chile, el agua es considerada un bien nacional de uso público, lo que significa que su acceso está regulado a través de derechos de aprovechamiento. Estos derechos son definidos por el Código de Aguas de 1981, el cual establece que cualquier persona o entidad puede acceder al agua siempre que se asignen derechos específicos sobre los recursos hídricos. Los derechos de agua en Chile se otorgan a título gratuito, pero están sujetos a ciertos términos y condiciones dependiendo de la región y la fuente del agua. Estos derechos de agua pueden ser consuntivos (es decir, el agua se consume y no vuelve a la fuente) o no consuntivos (el agua se utiliza pero sigue disponible para otros usos después de su aprovechamiento). Además, los derechos de agua pueden ser transferidos, vendidos o arrendados entre distintos usuarios, lo que crea un mercado dinámico de recursos hídricos (Muchnik et al., 1997).

Los derechos de agua permanentes otorgan la capacidad de usar el agua en cantidad determinada y sin restricciones, mientras que los derechos contingentes dependen de la disponibilidad del recurso en ciertos periodos. Estos derechos están sujetos a modificaciones, particularmente en épocas de escasez hídrica, como ocurre en muchas partes del país debido a la megasequía, que ha incrementado la competencia por el recurso (Comisión Nacional de Riego, 2013).

A lo largo de los años, se ha observado que las transacciones de agua, particularmente en sectores agrícolas, han sido limitadas debido a los altos costos de transacción y la falta de infraestructura adecuada para facilitar estas negociaciones, aunque en los últimos tiempos se han logrado avances significativos en la comercialización de derechos a través de mercados de agua en ciertas cuencas (Muchnik et al., 1997).

En las áreas rurales de Chile, donde la cobertura de los servicios públicos urbanos es limitada, los APR juegan un rol crucial en la distribución de agua para consumo humano. Estos sistemas están gestionados principalmente por comités de APR, organizaciones locales que se encargan de la captación, tratamiento y distribución del agua. Desde su creación en 1964, el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Aguas (DGA), supervisa la implementación y funcionamiento de estos sistemas, además de fomentar su desarrollo y mejorar la infraestructura hídrica en el sector rural. En muchos casos, estos sistemas se basan en fuentes naturales como pozos, manantiales, ríos y canales de riego (Congreso Nacional de Chile, 2023; Dirección de Obras Hidráulicas, 2019).

El modelo comunitario de gestión es predominante en las zonas rurales chilenas y está basado en la autogestión por parte de los habitantes organizados en comités o cooperativas. Esta estructura permite una administración democrática y un trabajo colectivo para mantener el servicio. Sin embargo, presenta desafíos, tales como la falta de capital y la carencia de competencias técnicas que dificultan la modernización de los sistemas y la respuesta ante emergencias (Baeza, 2023; Ministerio de Desarrollo Social, 2015). Estos comités gestionan todas las etapas del ciclo del agua, desde la captación hasta la distribución, y enfrentan presiones crecientes debido a la escasez hídrica que caracteriza al contexto actual (Congreso Nacional de Chile, 2023).

La situación actual de los sistemas de APR sigue enfrentando desafíos significativos a pesar de los esfuerzos por fortalecer su regulación. Entre los antecedentes más recientes, se destaca que en Chile existen actualmente 2,368 sistemas de APR que abastecen a cerca de 2,2 millones de habitantes en zonas rurales (Poder Ambiental, 2024).

Además, en muchas zonas rurales de Chile, la infraestructura de canales de agua es vital para la distribución y aprovechamiento de los recursos hídricos. Un canal de agua es una infraestructura destinada a conducir y distribuir agua desde una fuente natural (como un río, embalse, o manantial) hacia las zonas donde se necesita para diferentes usos, como el riego agrícola, el consumo humano o la generación de energía. Los canales pueden ser de diferentes tipos, según el tipo de agua que transportan, el volumen que manejan y la tecnología empleada (Comisión Nacional de Riego, 2013).

El uso de canales también está regulado por el Código de Aguas, que establece el derecho a utilizar el agua de estos cursos naturales bajo ciertas condiciones. La gestión de los canales se realiza a través de sistemas cooperativos entre los agricultores o usuarios, quienes se agrupan en asociaciones o juntas de vigilancia para administrar

los recursos hídricos. Estos sistemas de gestión ayudan a coordinar la distribución del agua de acuerdo con las necesidades de los usuarios, evitando conflictos por el recurso y garantizando su uso sostenible. El mercado de los derechos de agua, que permite la compraventa y arriendo de estos derechos, también impacta directamente en la gestión de los canales, ya que permite que el recurso se distribuya según las necesidades más urgentes de los usuarios (Comisión Nacional de Riego, 2013).

Sistemas de abastecimiento de agua

El sistema de abastecimiento de agua para riego es un proceso clave para garantizar la disponibilidad de agua en la agricultura y otras actividades productivas en zonas rurales. Estos sistemas permiten captar, almacenar y distribuir el agua de manera eficiente, asegurando que los cultivos reciban el recurso necesario para su desarrollo, incluso en épocas de escasez. La correcta implementación y regulación de estas etapas es esencial para maximizar la eficiencia hídrica y promover la sostenibilidad en la gestión del recurso.

1. **Captación:** La primera etapa de un sistema de abastecimiento de agua para riego es la captación, en la que se recoge agua de fuentes naturales como ríos, arroyos, embalses, canales de riego o pozos. La captación debe estar adecuadamente diseñada para garantizar un flujo continuo y evitar la sedimentación o contaminación del agua en su punto de entrada. En Chile, la Norma Chilena de calidad del agua (NCh 409) y el Código de Aguas regulan cómo se deben gestionar estas captaciones, considerando la protección del recurso y el acceso equitativo (Comisión Nacional de Riego, 2024a) (Comisión Nacional de Riego, 2024b).
2. **Conducción:** Después de la captación, el agua es transportada a través de sistemas de conducción, que pueden incluir tuberías, canales abiertos o acequias. Esta etapa es crucial para asegurar que el agua llegue al área de almacenamiento o directamente a los campos de riego de manera eficiente y con mínimas pérdidas. El Decreto Supremo N° 203, entre otros, regula las especificaciones técnicas para la construcción y mantenimiento de estas infraestructuras, asegurando que cumplan con estándares de durabilidad y eficiencia (Comisión Nacional de Riego, 2024a).
3. **Almacenamiento:** La etapa de almacenamiento es fundamental para manejar los periodos de escasez y las fluctuaciones en la disponibilidad del agua. El agua captada se almacena en tanques de regulación, embalses o depósitos diseñados para acumular el recurso durante los periodos de mayor disponibilidad y liberarlo según las necesidades de riego. Estas infraestructuras deben cumplir con normativas de seguridad y calidad, como las estipuladas en la Ley de Fomento al Riego

y Drenaje (Ley N° 18.450), que proporciona incentivos para la construcción de sistemas de almacenamiento y mejoras en la infraestructura existente (Comisión Nacional de Riego, 2024b).

4. Distribución: La última etapa es la distribución del agua desde los sistemas de almacenamiento hasta los campos de riego. Este proceso implica el uso de redes de tuberías, sistemas de goteo, aspersores o canales de distribución, que llevan el agua directamente a las plantas. La distribución debe ser diseñada para garantizar una entrega uniforme y evitar el desperdicio, optimizando el riego según las necesidades específicas de los cultivos. El Artículo 20 de la Ley N° 20.998 establece que los comités y cooperativas deben identificar y gestionar sus fuentes de agua y derechos para operar de forma legal y sostenible (Comisión Nacional de Riego, 2024a).

El proceso de almacenamiento de agua para riego no solo permite la acumulación del recurso, sino que también juega un papel crucial en la regulación y control de su uso, asegurando un suministro constante y adecuado en función de las necesidades agrícolas. Esta capacidad de almacenamiento es especialmente valiosa en contextos donde la disponibilidad del agua puede variar considerablemente a lo largo del año. Las normativas garantizan que los sistemas de almacenamiento se diseñen y operen bajo estándares que aseguren tanto la seguridad como la eficiencia del uso del recurso. De esta manera, se establece un marco que facilita la planificación y la gestión sostenible del agua, preparándose para enfrentar los retos que impone la variabilidad estacional en la disponibilidad de este recurso vital.

El almacenamiento de agua para riego es una práctica esencial para garantizar la disponibilidad del recurso durante los periodos de escasez hídrica, especialmente en zonas rurales donde la variabilidad climática afecta directamente la producción agrícola. Dentro de las diversas soluciones disponibles, los estanques plásticos han ganado relevancia por su bajo costo relativo, facilidad de instalación y adaptabilidad a distintos territorios. Estos sistemas consisten en estructuras flexibles o rígidas, fabricadas con materiales como polietileno o PVC, que permiten acumular volúmenes importantes de agua captada desde fuentes superficiales, subterráneas o incluso desde la cosecha de aguas lluvias (Movimiento Social en Defensa del Río Ñuble, 2016).

Entre sus principales ventajas se encuentran la rápida implementación, la portabilidad, y su capacidad de ser utilizados como almacenamiento temporal o permanente. Además, al ser cerrados o semi-cerrados, reducen el riesgo de contaminación externa y limitan la pérdida de agua por evaporación en comparación con sistemas abiertos como embalses o balsas. También resultan especialmente útiles en predios de pequeña y mediana escala, donde otras infraestructuras serían técnica o económicamente inviables (C. A. Torres & Morales, 2022).

Por otro lado, los estanques plásticos también presentan desafíos técnicos. Su vida útil puede verse afectada por la exposición prolongada a la radiación solar, la calidad del material, o el contacto con agua de baja calidad. Asimismo, requieren de una base firme y nivelada, además de mantenimiento preventivo para evitar roturas o filtraciones. A pesar de estas limitaciones, su versatilidad los convierte en una opción eficaz y replicable para mejorar la gestión del agua de riego en contextos rurales con recursos limitados (C. A. Torres & Morales, 2022).

Existen, sin embargo, múltiples oportunidades de mejora para aumentar su eficiencia y durabilidad. Por ejemplo, el uso de cubiertas o techos flotantes contribuye a reducir la evaporación y mantener la calidad del agua. Asimismo, incorporar filtros previos en la entrada del agua puede prevenir la entrada de sólidos que deterioren el estanque o los sistemas de riego. La capacitación técnica a los usuarios en instalación, monitoreo de fugas y selección adecuada del estanque según el volumen requerido y las condiciones del terreno es también clave para maximizar su efectividad (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, s.f.).

Calidad y variabilidad estacional del agua

El almacenamiento de agua para riego es un componente esencial en la gestión de recursos hídricos, especialmente en regiones con alta variabilidad climática. Los sistemas de almacenamiento, como tanques de regulación y embalses, permiten la acumulación de agua durante los periodos de alta disponibilidad, garantizando un suministro continuo en épocas de escasez.

La variabilidad estacional del agua se refiere a los cambios en la disponibilidad de recursos hídricos a lo largo del año, influenciados por factores climáticos y geográficos. En Chile, y particularmente en la Región de Valparaíso, esta variabilidad está marcada por un clima mediterráneo caracterizado por inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos. Esta dinámica provoca una distribución desigual de las precipitaciones, con un periodo de abundancia hídrica durante los meses invernales y una significativa reducción en los meses de verano. La Región de Valparaíso experimenta fluctuaciones notables en la disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea, debido a estas condiciones climáticas. Los ríos, esteros y acuíferos de la zona dependen en gran medida de las lluvias invernales para su recarga, lo que hace que la gestión y el almacenamiento del agua durante la época de sequía sean fundamentales para mantener un suministro adecuado (Luebert & Pliscoff, 2012; Ramírez, 2021).

La variabilidad estacional se ve además influenciada por fenómenos climáticos globales como El Niño y La Niña, los cuales alteran los patrones de precipitación y temperatura. Durante los años de El Niño, las precipitaciones tienden a ser más abundantes, lo que aumenta temporalmente la disponibilidad de agua, mientras que durante La

Niña, las condiciones suelen ser más secas y la sequía se intensifica (Luebert & Plissock, 2012).

Estos cambios estacionales tienen implicaciones directas en la planificación y gestión de recursos hídricos. Las comunidades y los sistemas de riego deben anticipar las épocas de escasez mediante la optimización del uso del agua disponible. La variabilidad estacional también afecta la recarga de acuíferos, lo que repercute en la sostenibilidad del suministro de agua subterránea y la capacidad de las fuentes superficiales para mantener caudales suficientes durante el verano (Luebert & Plissock, 2012).

Sistemas fotovoltaicos

La energía solar es una fuente renovable que aprovecha la radiación electromagnética emitida por el sol para generar energía útil. Esta energía puede ser transformada en energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, que utilizan paneles solares compuestos principalmente por células de silicio, un material abundante y semiconductor. La generación fotovoltaica es una de las tecnologías más limpias y sostenibles, debido a que no produce emisiones contaminantes durante su operación y permite aprovechar un recurso natural inagotable a escala humana (Biblioteca del Congreso Nacional, 2024; Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

En Chile, el potencial solar es particularmente alto, especialmente en regiones como la zona central donde se ubica Putaendo, donde las condiciones climáticas permiten una radiación solar anual que oscila entre 2200 y 2900 kWh/m². Esto hace que la instalación de sistemas fotovoltaicos sea una alternativa eficiente y sustentable para generar electricidad en zonas rurales o con dificultades de acceso a la red eléctrica convencional (SURPLAN, 2022; R. Torres, 2019).

Para el funcionamiento de un sistema de almacenamiento de agua, la energía solar puede alimentar bombas y controles eléctricos necesarios para la gestión del recurso hídrico, facilitando su uso eficiente y autónomo. Los sistemas solares fotovoltaicos domiciliarios constan de paneles solares, baterías para almacenamiento eléctrico, controladores de carga y equipos de consumo, los cuales deben ser correctamente dimensionados e instalados para asegurar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil del sistema (Ministerio de Energía, 2022).

Educación ambiental y la participación comunitaria

La educación ambiental es un proceso educativo diseñado para desarrollar una conciencia profunda sobre los problemas y desafíos ambientales, fomentando actitudes y comportamientos responsables hacia la conservación del entorno. En las escuelas rurales, esta educación es particularmente crucial, ya que los estudiantes tienen una cone-

xión más directa y cotidiana con los recursos naturales, como el agua, que son esenciales para sus comunidades (Ministerio del Medio Ambiente, 2024a). La educación ambiental en estos contextos busca proporcionar a los estudiantes los conocimientos y habilidades necesarias para gestionar de manera eficiente los recursos, promoviendo la sostenibilidad y preparando a las nuevas generaciones para responder a situaciones de escasez y cambios ambientales.

El rol de la educación ambiental en las escuelas rurales incluye tanto la enseñanza teórica como la implementación de actividades prácticas que permiten a los estudiantes aplicar lo aprendido en situaciones reales. Proyectos como la instalación de sistemas de recolección de agua de lluvia, el uso de técnicas de riego eficiente y la creación de huertos sostenibles son ejemplos de cómo la educación ambiental se traduce en acciones concretas que benefician tanto al entorno escolar como a la comunidad en general. Este enfoque no solo educa, sino que también empodera a los estudiantes, dándoles un papel activo en la gestión y protección de los recursos hídricos (Corchete, 1987).

La participación comunitaria en la gestión del agua y otros recursos naturales es esencial para la sostenibilidad de cualquier proyecto ambiental. La implicación de estudiantes, docentes, padres y otros miembros de la comunidad escolar en la planificación, ejecución y mantenimiento de proyectos de almacenamiento y gestión de agua fortalece el sentido de responsabilidad compartida y fomenta la cohesión social (Palmisano, 2020). La participación comunitaria permite que los conocimientos adquiridos en la escuela se extiendan más allá del aula y se incorporen en la vida cotidiana de la comunidad, creando una cultura de cuidado y uso eficiente del agua. Este enfoque colaborativo también ofrece la oportunidad de integrar los saberes locales y las experiencias comunitarias en la gestión de los recursos, lo que enriquece el aprendizaje y refuerza las prácticas sostenibles.

Los sellos ambientales son distintivos que certifican que una escuela ha adoptado e integrado prácticas sostenibles en su funcionamiento diario y en su currículo educativo. Estas prácticas pueden incluir la reducción de residuos, el uso eficiente del agua y la energía, la promoción del reciclaje y la educación ambiental activa para estudiantes y docentes. Los sellos no solo destacan los logros de la escuela, sino que también la motivan a continuar desarrollando e innovando en sus esfuerzos de sostenibilidad (Ministerio del Medio Ambiente, 2024c).

En Chile, uno de los reconocimientos más destacados es el Sello de Excelencia Ambiental, promovido por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) a través del Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos (SNCAE). Este sello se otorga a aquellas instituciones que demuestran un compromiso constante y efectivo con la gestión ambiental. Para obtener este tipo de certificación, las escuelas deben cumplir con criterios específicos, como la implementación de un plan de educación ambiental, la participación en actividades de conservación y la creación de espacios

de aprendizaje que fomenten la conciencia ecológica (Ministerio del Medio Ambiente, 2024b).



Figura 1: Certificación Ambiental para Establecimientos Educativos otorgada por el SNCAE (Ministerio del Medio Ambiente, 2024c)

La obtención de un sello ambiental o certificación aporta múltiples beneficios a las escuelas y a la comunidad educativa. En primer lugar, fomenta el desarrollo de una cultura de sostenibilidad que trasciende las aulas y se extiende a la comunidad. Los estudiantes, al participar en proyectos de educación ambiental, desarrollan habilidades y competencias que los preparan para tomar decisiones informadas y actuar de manera proactiva frente a los desafíos ambientales. Además, los sellos y certificaciones motivan a las instituciones a mantener y mejorar sus prácticas sostenibles, promoviendo un ciclo continuo de mejora.

Los sellos ambientales también sirven como una herramienta de sensibilización, ya que elevan la visibilidad de la escuela como un modelo a seguir en la comunidad. La implicación de la comunidad en estos procesos es fundamental, ya que refuerza la cohesión social y la corresponsabilidad en la protección del entorno.

Marco legislativo

El proyecto propuesto debe adherirse a un marco normativo que establece diversas regulaciones para garantizar la calidad del agua utilizada en los sistemas de riego. Aunque algunas normativas, como las que regulan el agua potable suministrada por el sistema APR, no aplican directamente al proyecto, se mencionan para contextualizar el marco legal vigente en el establecimiento y comprender las responsabilidades relacionadas con la gestión del recurso hídrico.

Por otro lado, existen regulaciones específicas que sí son directamente aplicables a la calidad y uso del agua en sistemas de riego agrícola, las cuales aseguran que el agua destinada a esta actividad no perjudique la salud de los cultivos ni el entorno. El cumplimiento de estas normativas es fundamental para garantizar una gestión responsable y sostenible del agua en el contexto del proyecto, especialmente en relación con las características y exigencias del agua utilizada para riego.

La normativa chilena establece un marco regulatorio riguroso para la gestión y calidad del agua potable, especialmente en sistemas rurales como los APR. La Ley N° 20.998, conocida como la Ley de Servicios Sanitarios Rurales, junto con la Ley N° 21.520 que introduce modificaciones para facilitar la implementación, regulan la operación, mantenimiento y financiamiento de estos sistemas, asegurando un suministro seguro y continuo para el consumo humano y estableciendo responsabilidades claras para los comités y cooperativas que los administran (Congreso Nacional de Chile, 2017, 2022)

Complementariamente, el Decreto N° 50 del Ministerio de Obras Públicas y la Norma Chilena NCh 409/2005 especifican parámetros estrictos de calidad del agua potable, incluyendo límites para contaminantes químicos y microbiológicos que deben ser monitoreados mediante controles periódicos (Dirección de Obras Hidráulicas, 2019; Instituto Nacional de Normalización, 2005; Ministerio de Obras Públicas, 2015).

Estas regulaciones son considerablemente más exigentes que las aplicables para el agua destinada a riego agrícola, por lo que el uso de agua potable para riego representa un gasto innecesario y un aprovechamiento ineficiente del recurso, sobre todo en contextos de escasez hídrica. Por ello, para promover una gestión sostenible y racional del agua, se recomienda utilizar fuentes alternativas o aguas almacenadas con calidad adecuada para riego, reservando el agua potable para consumo humano y actividades que requieran estrictamente esa calidad.

Norma Chilena 1333/1978 modificada en 1987

La NCh 1333, modificada en 1987, establece los requisitos de calidad del agua para diversos usos, incluyendo el agua para riego agrícola, con el fin de proteger tanto la salud

de los cultivos como la calidad del suelo. La norma especifica criterios detallados sobre los parámetros químicos, físicos y bacteriológicos del agua, y establece límites máximos permisibles para una serie de parámetros. Para cumplir con estos requisitos, los sistemas de riego deben realizar controles periódicos de la calidad del agua y tomar las medidas correctivas necesarias si los resultados no cumplen con los estándares establecidos. Aunque la implementación de estas regulaciones puede resultar desafiante debido a la variabilidad de las fuentes de agua y las capacidades técnicas de los sistemas de riego, es esencial para garantizar una agricultura saludable y sostenible, evitando impactos negativos en los cultivos y en el medio ambiente (Instituto Nacional de Normalización, 1987).

Dentro de los requisitos para agua para riego se encuentran diversos parámetros que deben cumplirse para asegurar que el agua no perjudique los cultivos ni el suelo. A continuación, se detallan los principales parámetros:

- pH: Debe cumplir con un pH comprendido entre 5,5 y 9,0 (Instituto Nacional de Normalización, 1987).
- Elementos químicos: En la tabla 1 se presentan los valores máximos de ciertos elementos químicos.

Tabla 1: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego
(Instituto Nacional de Normalización, 1987)

Elemento	Unidad	Límite máximo
Aluminio (Al)	mg/l	5,00
Arsénico (As)	mg/l	0,10
Bario (Ba)	mg/l	4,00
Berilio (Be)	mg/l	0,10
Boro (B)	mg/l	0,75
Cadmio (Cd)	mg/l	0,01
Cianuro (CN)	mg/l	0,20
Cloruro (Cl)	mg/l	200,00
Cobalto (Co)	mg/l	0,05
Cobre (Cu)	mg/l	0,20
Cromo (Cr)	mg/l	0,10
Fluoruro (F)	mg/l	1,00
Hierro (Fe)	mg/l	5,00
Litio (Li)	mg/l	2,50
Litio (cítricos) (Li)	mg/l	0,075
Manganeso (Mn)	mg/l	0,20
Mercurio (Hg)	mg/l	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,01
Níquel (Ni)	mg/l	0,20
Plata (Ag)	mg/l	0,20
Plomo (Pb)	mg/l	5,00
Selenio (Se)	mg/l	0,02
Sodio Porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (SO ₄)	mg/l	250,00
Vanadio (V)	mg/l	0,10
Zinc (Zn)	mg/l	2,00

- Conductividad específica y sólidos disueltos totales: En la tabla 2 se presenta una clasificación de aguas para riego de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a las características de una conductividad específica y concentración de TDS.

Tabla 2: Clasificación de aguas para riego según su salinidad (Instituto Nacional de Normalización, 1987)

Clasificación	Conductividad específica, c ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	Sólidos disueltos totales, s (mg/L a 105°C)
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 \leq c \leq 1500$	$500 \leq s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.	$1500 \leq c \leq 3000$	$1000 \leq s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	$3000 \leq c \leq 7500$	$2000 \leq s \leq 5000$

- Pesticidas: Para los herbicidas, la autoridad competente debe emitir su pronunciamiento en cada caso. No se considera que los insecticidas tengan efectos en el agua para riego (Instituto Nacional de Normalización, 1987).
- Bacteriológicos: Las coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de frutas y verduras que se desarrollen a ras de suelo, debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales / 100 mL (Instituto Nacional de Normalización, 1987).

Contexto

Para comprender la importancia de la intervención propuesta en la Escuela General Básica Paso Histórico El Tártaro de Putaendo, es esencial contextualizar tanto la escuela como la comuna y los recursos hídricos disponibles en la zona. En la Región de Valparaíso, la gestión del agua se ha convertido en un tema central debido a su importancia para los sectores agrícolas, urbanos y rurales. Las comunidades rurales, como la de Putaendo, enfrentan desafíos significativos en el abastecimiento de agua, especialmente en áreas donde el acceso a recursos hídricos es limitado y la infraestructura disponible es insuficiente para cubrir las crecientes demandas. La escasez de agua, junto con una infraestructura de riego y almacenamiento deficiente, afecta directamente a las actividades agrícolas y, por ende, a la economía local, que depende en gran medida de estos recursos para mantener la producción.

En este contexto, la falta de almacenamiento adecuado de agua y la ineficiencia en su distribución son problemáticas cruciales que enfrentan tanto las comunidades rurales como las instituciones educativas. La escasez de agua para riego agrícola en la escuela y en la comunidad no solo afecta el desarrollo de cultivos, sino también las actividades pedagógicas y el aprendizaje sobre sostenibilidad. Para abordar estos problemas, se hace necesario desarrollar soluciones que optimicen el uso del recurso hídrico y fomenten una cultura de gestión responsable del agua.

Esta sección tiene como objetivo describir las características clave de la escuela, su infraestructura, los recursos disponibles y las necesidades hídricas identificadas, así como proporcionar una visión general de la comuna de Putaendo y los desafíos hídricos que enfrenta. Esta información es fundamental para justificar la necesidad de un sistema de almacenamiento de agua para riego y cómo este proyecto puede mejorar las condiciones de la escuela y beneficiar a la comunidad educativa. La importancia de entender cómo se distribuyen y se gestionan los recursos hídricos en la región radica en la identificación de las necesidades específicas de las comunidades rurales y la búsqueda de alternativas sostenibles que garanticen el acceso adecuado al agua en el futuro.

Localidad

Putaendo es una comuna situada en la Región de Valparaíso, específicamente en la provincia de San Felipe de Aconcagua. Según el Censo de 2024, esta localidad cuenta con una población de 17.336 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, 2024). Presenta un clima mediterráneo semiárido, caracterizado por inviernos húmedos y veranos secos. La precipitación media anual es cercana a los 300 mm, concentrada entre los meses de mayo y agosto, mientras que las temperaturas en verano superan con frecuencia

los 30 °C (Centro de Información de Recursos Naturales, 2024). Estas condiciones influyen directamente en la disponibilidad de los recursos hídricos, especialmente en lo que respecta al uso del agua para la agricultura, ya que las largas temporadas secas aumentan la demanda de riego y reducen la carga natural de los acuíferos.

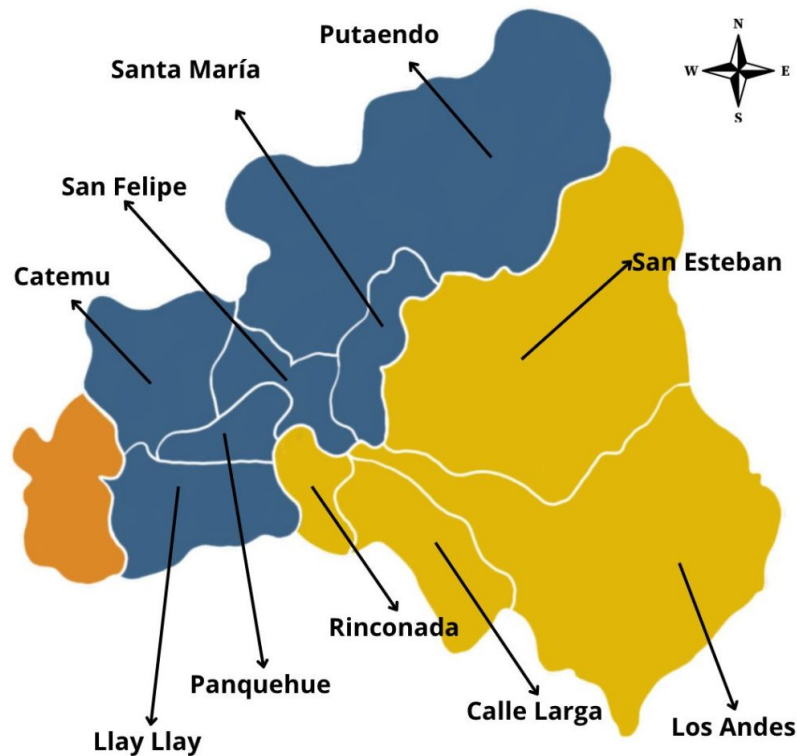


Figura 2: Mapa de las comunas del Valle del Aconcagua (Mi Valle de Aconcagua, 2024)

Putaendo tiene una rica historia que data de tiempos prehispánicos, siendo habitada inicialmente por pueblos indígenas cazadores-recolectores. Con la llegada de los colonizadores españoles y el descubrimiento de minas de oro en el siglo XVIII, la población creció y se consolidó como un punto de desarrollo económico. A lo largo de los siglos, la comuna ha sido testigo de eventos históricos relevantes, incluidos los pasajes de las fuerzas patriotas durante la lucha por la independencia de Chile (Centro de Información de Recursos Naturales, 2016; Municipalidad de Putaendo, 2013).

La economía de Putaendo se sustenta principalmente en la agricultura y la producción vitivinícola, con cultivos destacados como cerezas, duraznos y manzanas, además de hortalizas y viñas. Estas actividades requieren un acceso constante y suficiente al recurso hídrico, especialmente para el riego, lo que se ha vuelto cada vez más difícil debido a la prolongada crisis hídrica que afecta a la zona. Según estudios recientes, más del 60 % del agua utilizada en la comuna se destina a actividades agropecuarias (Millanao, 2023). Estas actividades agrícolas se notan en la figura 3, donde se presenta

la distribución del uso del suelo agrícola en la comuna.

Comuna de Putaendo - Suelo con aptitud agrícola

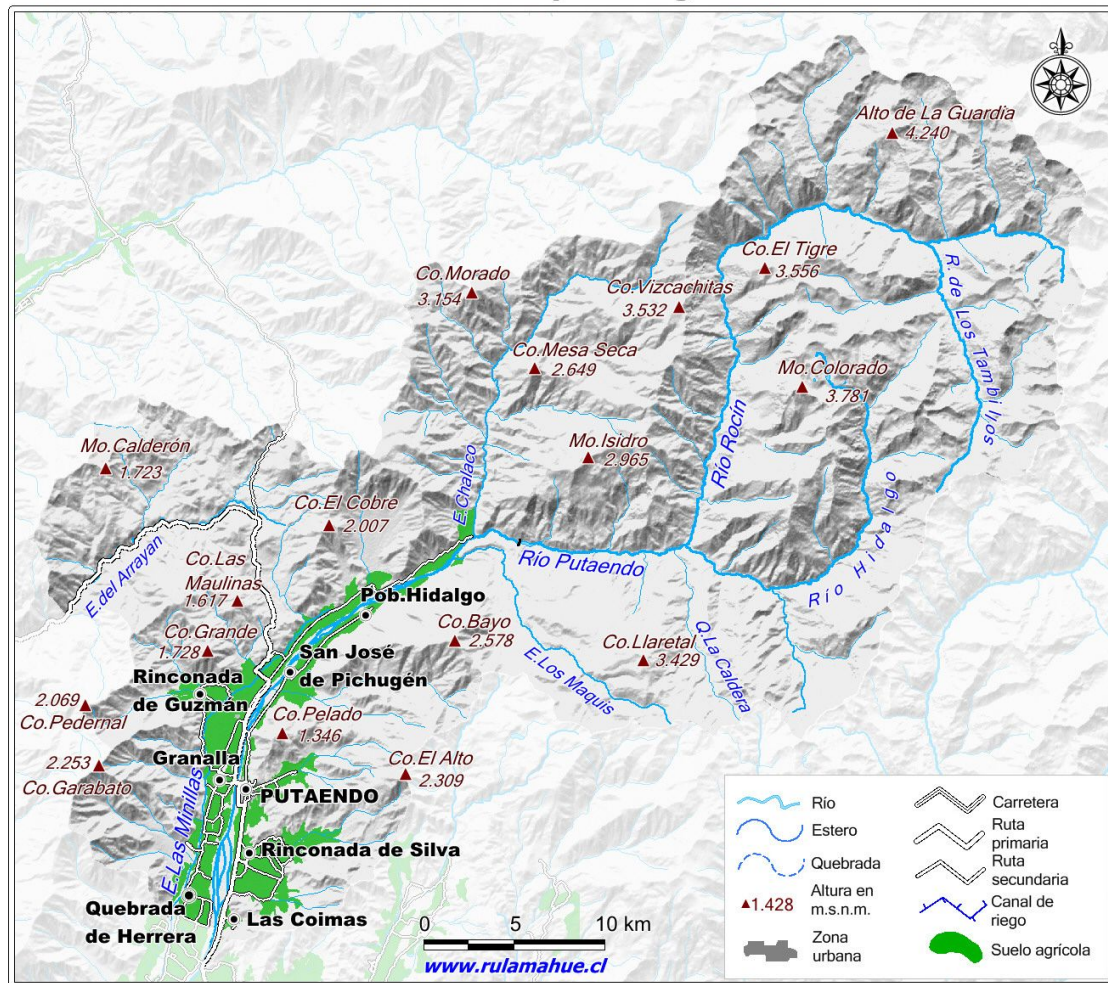


Figura 3: Mapa de la distribución de los suelos con aptitud agrícola (Rulamahue, 2024)

Actualmente, las principales fuentes de agua utilizadas para estas actividades provienen del río Rocín y sus afluentes; como el estero Chalaco, además de una red de canales, norias, pozos profundos y, en menor medida, aguas lluvias recolectadas. Según la Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de la Región de Valparaíso (2024), gran parte del riego se organiza a través de sistemas comunitarios administrados por asociaciones de canalistas y juntas de vigilancia. En sectores más afectados por la escasez hídrica, los agricultores han debido perforar pozos cada vez más profundos y construir estanques plásticos para acumular agua durante los periodos de mayor disponibilidad, lo que permite mantener cierto grado de autonomía en los meses secos. Estas fuentes, sin embargo, han sido presionadas tanto por la baja recarga natural como por la creciente demanda, lo que ha llevado a implementar tecnologías de riego eficiente y a reforzar mecanismos comunitarios de gestión.

En este contexto, Putaendo enfrenta una situación crítica debido a la sostenida disminución de precipitaciones y al progresivo agotamiento de sus fuentes hídricas superficiales, especialmente el río Rocín. Según la Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de la Región de Valparaíso (2024), esta baja disponibilidad de agua ha afectado gravemente la producción agrícola y ganadera, provocando pérdidas considerables en frutales como damascos, duraznos y almendros. A ello se suma una reducción sostenida de la superficie frutícola comunal, que pasó de 2.291 hectáreas en 2007 a 1.781 hectáreas en 2023, evidenciando tanto los efectos del déficit hídrico como la necesidad de reconversión hacia cultivos de menor demanda hídrica. Frente a este contexto, los agricultores han adoptado diversas medidas para aprovechar mejor el recurso hídrico disponible. Entre ellas se cuentan la implementación de sistemas de riego tecnificado, la construcción de estanques de acumulación y una transición gradual hacia cultivos más resilientes.

Por otra parte, la presión sobre el agua no se explica solo por causas climáticas. Tal como señala Palmisano (2020), la expansión de proyectos extractivos como la minería ha generado tensiones socioambientales significativas, particularmente en sectores rurales donde el agua es entendida no solo como recurso productivo, sino también como parte del territorio y de las formas de vida campesinas. El proyecto Vizcachitas, promovido por la empresa Los Andes Copper, ha sido fuertemente resistido por organizaciones locales debido a su ubicación sobre el lecho del río Rocín, lo que ha intensificado las disputas por el control y uso del agua en la comuna. En este sentido, el agotamiento hídrico en Putaendo no es solo resultado del cambio climático, sino también de un modelo de desarrollo que privilegia actividades intensivas en recursos naturales, generando conflictos territoriales y socioambientales cada vez más visibles.

En este contexto rural, las escuelas rurales desempeñan un rol clave en la educación de las nuevas generaciones, ofreciendo una formación académica y, en muchos casos, integrada con la cultura y las necesidades específicas de la comunidad local. Las escuelas rurales de Putaendo no solo se enfocan en la educación formal, sino también en promover la educación ambiental y el aprendizaje sobre la gestión de recursos naturales, como el agua.

Establecimiento educacional

La Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro está ubicada en la localidad de Los Tártaros, en la comuna de Putaendo, Región de Valparaíso. Este establecimiento educativo tiene una trayectoria que se remonta a más de 70 años, jugando un papel fundamental en la formación de estudiantes en esta zona rural. La escuela actualmente atiende a un total de 116 alumnos, que provienen de diversas localidades rurales cercanas, tales como Los Patos, Casablanca, El Tártaro, Lo Vicuña, La Nogalada, entre

otras (Ministerio de Educación, 2023) (Dirección General de Vinculación con el Medio, UTFSM, 2024b).

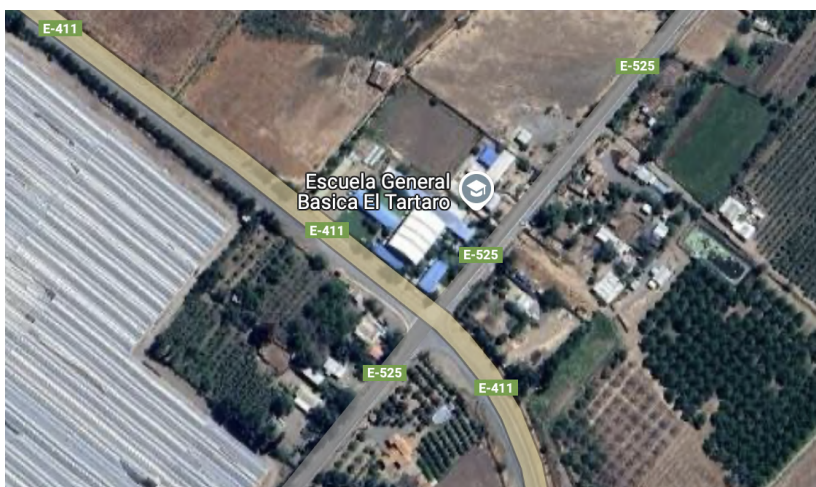


Figura 4: Ubicación Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro (Google, 2024)

La escuela cuenta con una infraestructura adecuada para sus necesidades educativas, que incluye 8 aulas, 1 aula prebásica, una sala de profesores, comedor, biblioteca, y 3 invernaderos. Además, posee un terreno cultivable de aproximadamente 3.000 metros cuadrados, que es utilizado para huertos escolares y otras actividades agroecológicas, los cuales actualmente se riegan con agua potable extraída desde el sistema de APR, debido a la falta de acceso a fuentes hídricas destinadas exclusivamente al riego. La escuela está comprometida con la enseñanza de prácticas sostenibles y la promoción de la conciencia ambiental, apoyada por su sello educativo medioambiental, que impulsa la agroecología y el cuidado del medio ambiente entre sus estudiantes (Dirección General de Vinculación con el Medio, UTFSM, 2024a).

En cuanto a la dotación de personal, la escuela dispone de 20 docentes y 12 asistentes de la educación, quienes trabajan de manera conjunta para implementar su enfoque educativo integral. La escuela también ha integrado actividades extracurriculares relacionadas con el reciclaje, el compostaje y la gestión ambiental, ofreciendo a los estudiantes una educación práctica sobre la sostenibilidad. Estos esfuerzos reflejan un compromiso colectivo, involucrando tanto al personal educativo como a los estudiantes en prácticas de cuidado del agua y del medio ambiente (Dirección General de Vinculación con el Medio, UTFSM, 2024b).

En el terreno cultivable, presentado en la figura 5, con el área marcada por un borde rosado, la escuela ha instalado 3 invernaderos (figura 6), los cuales se comenzarán a utilizar a mediados del año 2025. Estos invernaderos complementan el enfoque educativo de la escuela. Así, los invernaderos permiten a los estudiantes consolidar su aprendizaje práctico sobre la producción de alimentos de manera controlada, promoviendo la integración de la teoría con la práctica en su formación ambiental.



Figura 5: Ubicación y delimitación del terreno cultivable de la escuela (Google, 2024)



Figura 6: Invernaderos instalados en el terreno cultivable de la escuela. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025

La escuela también ha implementado un sistema de reutilización de aguas grises con una capacidad de aproximadamente 5.000 litros, presentado en la figura 7, el cual está destinado al riego de los jardines escolares. Este sistema recolecta las aguas residuales provenientes de los lavamanos, las cuales son conducidas a través de un filtro de carbón activado para remover impurezas. Posteriormente, el agua tratada se almacena en un estanque conectado a una red de cañerías que distribuye el recurso a través de difusores tipo pop-up, comúnmente utilizados en áreas verdes, permitiendo el

riego de los jardines ubicados en el patio y la entrada de la escuela. Esta iniciativa forma parte de las estrategias de gestión eficiente de los recursos hídricos, apoyando el cuidado del agua y promoviendo el uso responsable del recurso y reduciendo la dependencia de fuentes externas de agua.



Figura 7: Estanque de almacenamiento y filtros del sistema de reutilización de aguas grises de la escuela. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025

La escuela también cuenta con una estación meteorológica instalada en el terreno, presentada en la figura 8, la cual se utiliza para monitorear las condiciones climáticas de la zona. Esta estación está equipada con diversos sensores que miden parámetros como la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar.



Figura 8: Estación meteorológica Los Tártaros. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025

Además, el establecimiento cuenta con un canal que provee agua para riego, lo que podría facilitar el cuidado de los huertos escolares y otros espacios verdes dentro de la escuela. Este canal es un recurso valioso que se puede utilizar para mantener los jardines y actividades agroecológicas, permitiendo a los estudiantes aprender de manera directa sobre el manejo y uso del agua en el contexto agrícola. Dentro del terreno, existen canales de distribución que permiten que el agua fluya a través de distintas áreas. El agua entra por un extremo del terreno y, tras recorrer los canales, sale por la otra esquina, continuando su cauce para ser utilizada de manera adecuada. En la figura 9 se muestra la entrada del canal y el inicio de los canales de distribución dentro del terreno.



Figura 9: Entrada del canal y canales de distribución dentro del terreno. Elaboración propia, 19 de marzo de 2025

El caudal del canal varía según la temporada. En verano, el flujo es de 138 L/min, mientras que en invierno, debido a la liberación controlada desde el embalse, se reduce a 60 L/min. Durante el verano, el ciclo de distribución dura 22 minutos y se repite cada 120 horas, proporcionando aproximadamente 3.000 litros por ciclo. En invierno, el ciclo se acorta a 7 minutos y se repite cada 192 horas, lo que limita el volumen disponible. El acceso al agua depende de los horarios en los que se distribuye desde el embalse y recorre diversos sectores de la comuna y comunidades cercanas. Esta distribución dificulta su uso efectivo para el riego de los cultivos, por lo que, actualmente, el agua solo se emplea para recorrer los canales de distribución del terreno, sin ser utilizada para regar los huertos.

Recursos hídricos

El canal de la escuela recibe agua proveniente del embalse Chacrillas, ubicado a 20 km al sureste del centro de Putaendo, en la cuenca del río Rocín, un afluente del río Putaendo. Este embalse fue construido específicamente para optimizar el riego agrícola en la zona, asegurando la regulación hídrica en el valle. El embalse tiene una capacidad útil de 27 hm³ y su función principal es almacenar agua para el riego de una extensión de aproximadamente 7.100 hectáreas, contribuyendo a mejorar la disponibilidad de agua durante las estaciones secas, especialmente entre los meses de mayo a noviembre (Dirección General de Aguas, 2006; Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

El río Putaendo, que se origina en la unión del estero Hidalgo y el río Rocín en la alta cordillera, recibe el agua de este embalse, la cual es distribuida a través de canales de riego como el Canal Putaendo. Este canal permite la irrigación de tierras agrícolas en el valle de Putaendo, beneficiando tanto a la agricultura como a la comunidad local. Sin embargo, debido a la variabilidad de los caudales y la falta de regulación de los ríos principales, la seguridad del suministro de agua para riego sigue siendo un desafío en la región. El río Putaendo tiene un régimen mixto, con caudales alimentados por lluvias en invierno y deshielos en verano, lo que contribuye a su variabilidad y afecta la disponibilidad de agua durante los meses críticos (Dirección General de Aguas, 2004a; Municipalidad de Putaendo, 2023). La red hídrica de la subcuenca del río Putaendo incluye, además, el río Rocín, el estero Chalaco, el estero Los Maquis y algunas quebradas menores, que aportan al cauce fluvial en su recorrido (Dirección General de Aguas, 2004b).

En la figura 10 se presenta el mapa de la ubicación del Embalse Chacrillas y los ríos involucrados, incluyendo el río Rocín y el río Putaendo, que son clave para el abastecimiento de agua en la zona de riego agrícola del valle de Putaendo.

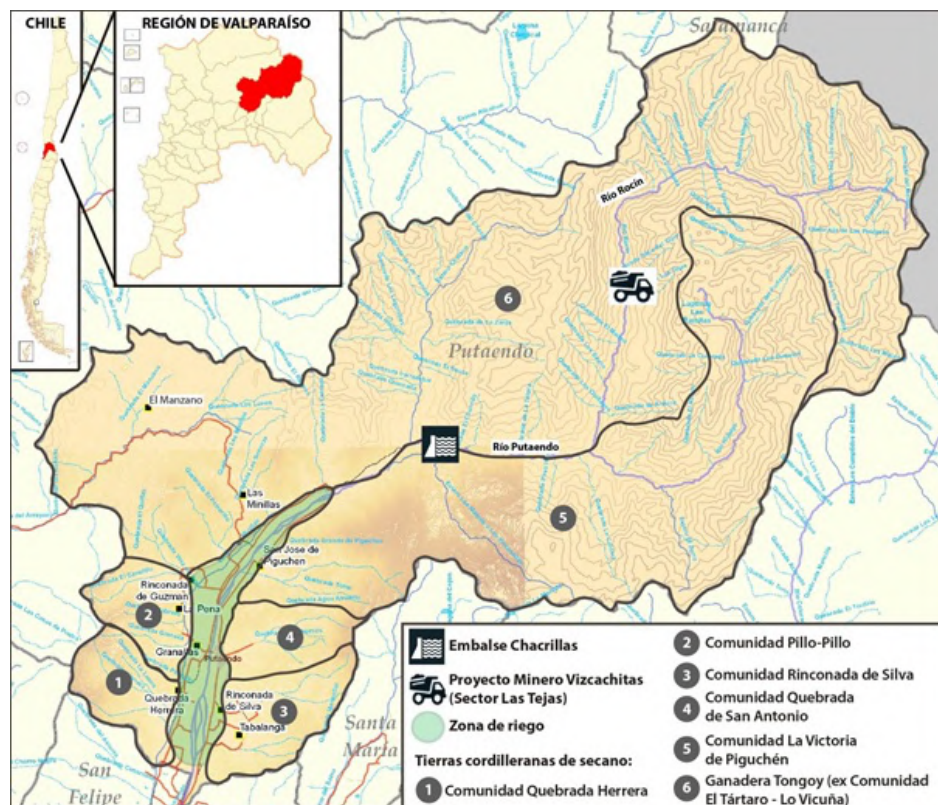


Figura 10: Ubicación del Embalse Chacrillas (Palmisano, 2020)

Gestión y demanda hídrica

En las zonas rurales de Chile, la gestión del agua enfrenta desafíos críticos debido a la infraestructura limitada, la dispersión de los asentamientos y la vulnerabilidad a las variaciones climáticas. Aproximadamente el 46 % de la población rural depende de sistemas de gestión comunitaria o individual, como pozos y camiones aljibes, para abastecerse de agua (Álvarez-Garretón et al., 2023; Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2023). Esta situación se ha agravado en la última década debido a la megasequía que afecta al país desde 2010, lo que ha puesto una enorme presión sobre las fuentes de agua disponibles. La escasez es especialmente severa en las cuencas entre Coquimbo y el Maule, donde se registran altos niveles de estrés hídrico, lo que agrava las dificultades de abastecimiento en las comunidades rurales (Álvarez-Garretón et al., 2023). En muchas de estas comunidades, el acceso al agua se ha visto restringido a unas pocas horas al día o incluso a ciertos días de la semana, debido a la falta de infraestructura adecuada que asegure un suministro continuo y confiable.

Esta problemática se extiende con mayor particularidad en la Región de Valparaíso, donde la demanda hídrica se concentra principalmente en la agricultura, un sector fundamental para la economía local. Según datos de la DGA, la agricultura representa la mayor parte del consumo de agua en la región, con el 73 % de la demanda destinada al riego agrícola. Esta cifra está asociada principalmente a cultivos frutales, como viñas y paltos, que son predominantes en la región, especialmente en las cuencas del río Aconcagua, el principal proveedor de agua. Además, la necesidad de agua en la agricultura ha aumentado debido a los efectos de la sequía prolongada, lo que ha puesto presión sobre los recursos hídricos disponibles (Dirección General de Aguas, 2017). Como se muestra en la figura 11, las cifras de demanda hídrica en la región reflejan esta fuerte dependencia del sector agrícola para el abastecimiento de agua.

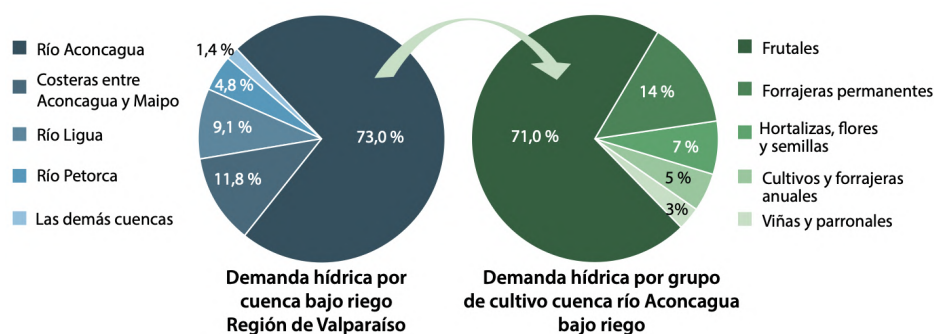


Figura 11: Demanda hídrica superficial para riego en la Región de Valparaíso, a nivel de cuenca y por grupos de cultivos en la cuenca principal (Fundación para la Innovación Agraria, 2022)

Para el futuro, las proyecciones de demanda hídrica agrícola en la Región de Val-

paraíso estiman un aumento del 16 % entre 2015 y 2040, esto se ve representado en la figura 12, que ilustra el aumento esperado de la demanda hídrica durante este periodo. Este incremento está vinculado a una expansión en el uso de riego tecnificado y una mayor superficie de cultivos, lo que incrementará la demanda de agua para riego (Dirección General de Aguas, 2017). La alta concentración de cultivos que requieren un gran volumen de agua, como los frutales y la vid, lleva a una presión adicional sobre los recursos hídricos, especialmente en años con precipitaciones por debajo de lo normal.

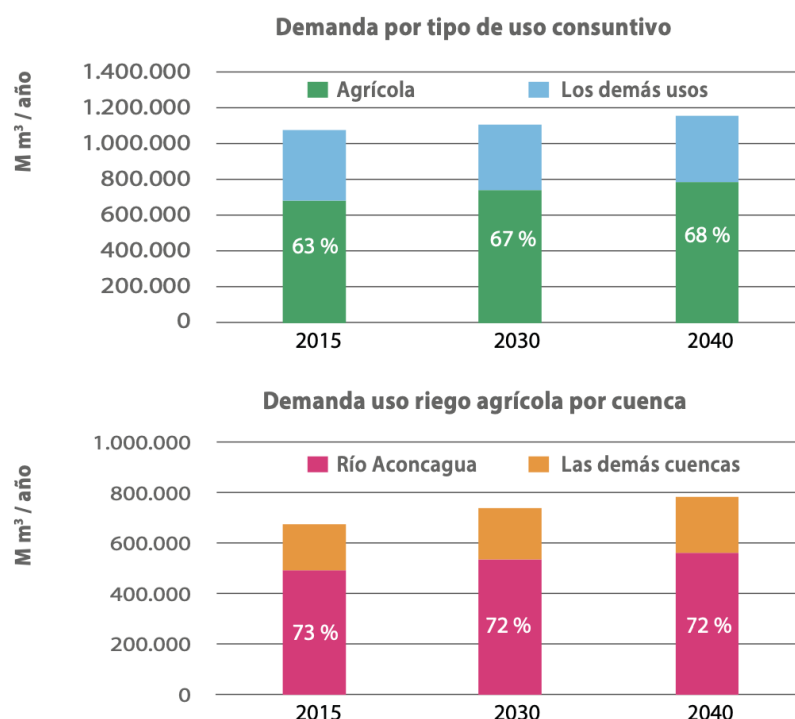


Figura 12: Proyección de la demanda hídrica consuntiva en la Región de Valparaíso (Fundación para la Innovación Agraria, 2022)

Además, la distribución de la demanda hídrica muestra una alta dependencia del río Aconcagua, que es responsable del mayor porcentaje de la oferta de agua para riego (Dirección General de Aguas, 2017). La importancia de este río se refleja en las proyecciones que estiman que continuará siendo la fuente principal de agua para los sectores agrícola y urbano, a pesar de la escasez de agua en la región.

El uso del agua para consumo urbano y para la generación de energía es secundario en comparación con la agricultura, pero también se espera que estos sectores mantengan su demanda (Fundación para la Innovación Agraria, 2022). Esto resalta la necesidad de gestionar de manera eficiente el recurso hídrico, para garantizar su disponibilidad para todos los sectores en el futuro.

En términos de usos específicos, la agricultura de la región está experimentando un cambio hacia tecnologías de riego más eficientes, como el riego por goteo y el riego por aspersión, que están siendo adoptadas cada vez más para asegurar una utilización

más racional del agua (Fundación para la Innovación Agraria, 2022). Sin embargo, la escasez hídrica y la variabilidad estacional del recurso siguen siendo desafíos clave para la sostenibilidad de estos sistemas, especialmente para los pequeños agricultores que no cuentan con los recursos suficientes para implementar tecnologías de riego avanzadas.

Sistemas de Agua Potable Rural

Los sistemas de APR representan una solución crucial para el abastecimiento de agua en comunidades rurales del país, donde gran parte de la población depende de estos sistemas para acceder al agua potable. Sin embargo, los APR enfrentan diversos desafíos que podrían comprometer el uso continuo del agua disponible, limitando su capacidad para satisfacer las necesidades de las comunidades.

Estos sistemas son cruciales para abastecer a las comunidades rurales, pero su funcionamiento depende de fuentes hídricas limitadas y vulnerables, como pozos, esteros y canales. En localidades como Putaendo, los APR han sufrido una grave reducción de los niveles de los pozos, lo que ha afectado la disponibilidad de agua para consumo humano. En algunos casos, los pozos han disminuido hasta 12 metros de profundidad, lo que limita su capacidad para abastecer a la población, especialmente en períodos de sequía o durante los meses de menor precipitación (Dirección General de Aguas, 2016; Fernández, 2023).

Además, la sobrecarga de los recursos hídricos es otro de los problemas clave. La demanda de agua para riego agrícola, especialmente en la cuenca del río Aconcagua, que es la principal fuente de agua para la agricultura en la región, ha aumentado considerablemente. Esto genera una competencia directa por los recursos con los APR, quienes también dependen de las mismas fuentes de agua para abastecer a las comunidades rurales. Este desbalance crea un riesgo para los APR, ya que en años de sequía, las fuentes de agua se ven agotadas más rápidamente, lo que pone en peligro la continuidad del suministro de agua potable a las familias, limitando el acceso al recurso en áreas rurales (Dirección General de Aguas, 2016).

Por otro lado, los derechos de aprovechamiento de agua están principalmente en manos de grandes usuarios agrícolas y empresas, quienes tienen prioridad legal para acceder a los recursos hídricos sobre las comunidades rurales. Esto genera una competencia por el acceso al agua, ya que las APR deben compartir los recursos con sectores que demandan volúmenes mucho mayores (Ramírez, 2021). Este contexto dificulta la capacidad de las APR para garantizar un suministro continuo y confiable de agua para consumo humano, especialmente en zonas donde los recursos hídricos son limitados o están sujetos a la privatización de los derechos de agua. Como resultado, las APR enfrentan restricciones en el uso del agua, lo que incrementa la vulnerabilidad de las comunidades rurales ante la escasez hídrica.

En el caso de la Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro, el agua proveniente del APR no solo se destina al consumo humano, sino también al riego agrícola de los huertos escolares y otros espacios verdes. Esta situación refleja un desafío común en muchas comunidades rurales, donde la demanda de agua para riego agrícola entra en competencia directa con el abastecimiento de agua potable, lo que compromete la disponibilidad de agua para consumo humano. En la tabla 3, se muestra el total de agua consumida del APR en m³ durante el año 2023.

Tabla 3: Consumo mensual de agua en el año 2023

Mes	Total consumido (m ³)
Enero	190
Febrero	146
Marzo	146
Abril	234
Mayo	208
Junio	55
Julio	99
Agosto	141
Septiembre	55
Octubre	93
Noviembre	162
Diciembre	213
Total	1742

A partir de la tabla presentada, se puede observar que durante los meses de verano, como enero, febrero, marzo, abril y mayo, el consumo de agua es significativamente más alto, alcanzando hasta 234 m³ en abril.

Variabilidad estacional

La variabilidad estacional de las precipitaciones es una de las principales problemáticas que enfrenta la Región de Valparaíso en cuanto a la gestión hídrica. La distribución desigual de las lluvias durante el año genera períodos de escasez en los meses de verano, cuando la demanda de agua, especialmente para riego agrícola, es mayor. Durante los meses de invierno, se presenta la mayor parte de la precipitación, pero el agua captada en esta temporada no siempre es suficiente para cubrir las necesidades del resto del

año, lo que aumenta la dependencia de sistemas de almacenamiento de agua y canales de riego. Esta variabilidad, exacerbada por el cambio climático, hace que las comunidades rurales, especialmente aquellas que dependen de la agricultura, enfrenten desafíos constantes en la gestión de sus recursos hídricos.

En la Región de Valparaíso, los patrones de precipitación muestran una clara variabilidad estacional. Según los datos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), durante los meses de invierno (mayo-agosto), la región recibe la mayor parte de sus precipitaciones, mientras que en verano (enero-marzo), las lluvias son escasas (Dirección Meteorológica de Chile, 2023).

Por ejemplo, en la figura 13, se muestra la evolución de la precipitación anual en la Estación San Felipe Escuela Agrícola (320019), ubicada a 17 km de la comuna de Putaendo, donde los valores de precipitación anual han variado considerablemente desde 1981 hasta la actualidad.

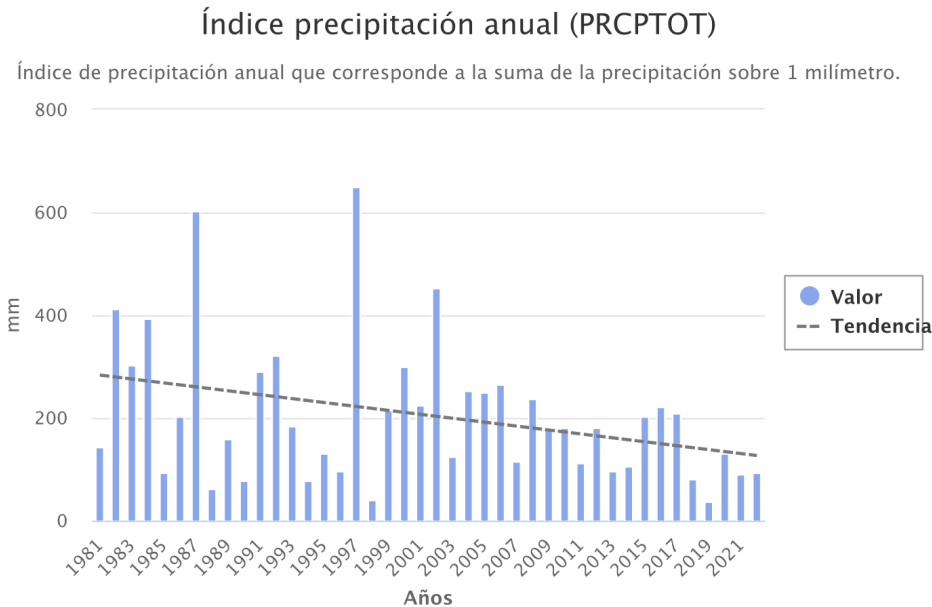


Figura 13: Índice de precipitación anual desde 1981 en la Estación San Felipe Escuela Agrícola (Dirección Meteorológica de Chile, 2024)

En años como 1987, se registraron precipitaciones notables de 601.6 mm, un valor muy por encima de la media, mientras que en años como 2019, las precipitaciones fueron muy bajas, alcanzando solo 36.8 mm, lo que representa un déficit de 208.1 mm en comparación con el promedio anual. Esta variabilidad es crucial para la gestión hídrica, ya que los períodos de abundancia en los meses de invierno no siempre aseguran un suministro constante durante los meses secos. La tendencia lineal a lo largo de las décadas indica una disminución en las precipitaciones anuales de aproximadamente -38.2 mm por década, lo que refleja una clara tendencia hacia la reducción de las lluvias a largo plazo, un fenómeno que se ve exacerbado por el cambio climático (Dirección Meteorológica de Chile, 2023).

De manera similar, en la figura 14 se observa que en Putaendo, durante el año 2023, las precipitaciones se concentraron principalmente entre los meses de junio a septiembre, con los niveles más altos en estos meses, lo que subraya la variabilidad estacional observada en otras partes de la región. Este patrón demuestra cómo, tanto en Putaendo como en otras áreas de la región, los períodos de lluvia son impredecibles y varían considerablemente de un año a otro, lo que hace aún más complejo garantizar un suministro de agua adecuado durante todo el año. La variabilidad estacional de las lluvias no solo está influenciada por los cambios estacionales, sino también por los eventos climáticos extremos, que alteran aún más los patrones de precipitación, generando años de sequía o lluvias excesivas, aumentando la imprevisibilidad en la disponibilidad de agua (Dirección Meteorológica de Chile, 2023).

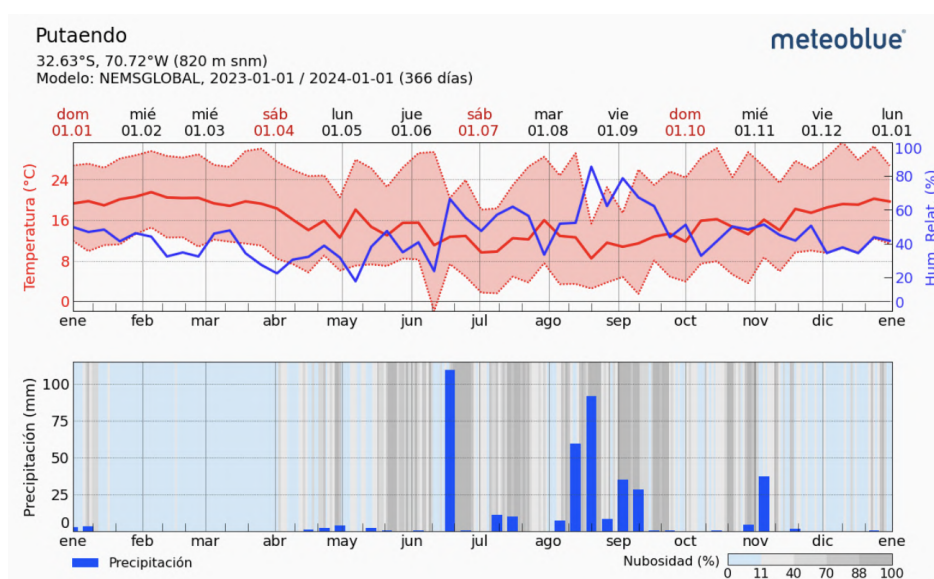


Figura 14: Datos históricos sobre las condiciones meteorológicas de Putaendo durante 2023 (meteoblue, 2024)

El impacto de la variabilidad estacional sobre los recursos hídricos de la región es considerable. En invierno, cuando las lluvias son más abundantes, los ríos y acuíferos se recargan, pero esta acumulación no siempre se traduce en un abastecimiento adecuado para todo el año. El río Putaendo, principal fuente de agua para los sistemas de riego, experimenta un aumento en su caudal durante los meses de lluvia, pero las fluctuaciones a lo largo del año reflejan la vulnerabilidad del sistema hídrico a los cambios estacionales. Además, los embalses y sistemas de almacenamiento no siempre están diseñados para aprovechar eficientemente las precipitaciones invernales, lo que limita la capacidad de almacenar el agua para su uso durante los meses secos.

Durante el verano, la disminución de las precipitaciones coloca una presión considerable sobre los recursos disponibles, particularmente en las áreas rurales donde la agricultura es el principal sector demandante de agua. En estos períodos, las comuni-

dades rurales deben depender de sistemas de captación de agua de lluvia y de fuentes superficiales como canales de riego. Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada para captar y almacenar el agua durante los meses más lluviosos limita la capacidad de enfrentar las sequías estacionales.

Metodología

Este estudio sigue un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. El objetivo principal es analizar los recursos hídricos disponibles en la Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro, realizar análisis de calidad del agua y diseñar una solución para optimizar el uso de este recurso en las actividades agroecológicas y de riego.

Identificación de la problemática

Durante el primer semestre de 2024, como parte del proyecto FSM2395, se realizaron encuestas dirigidas a estudiantes, profesores, asistentes de la educación y apoderados de la escuela para conocer su percepción sobre la escasez hídrica y las posibles medidas de prevención. Una de las conclusiones más relevantes fue la necesidad urgente de implementar un sistema de almacenamiento de agua. Esta conclusión refuerza la importancia de establecer una solución que asegure el suministro constante de agua para las actividades de la escuela, en particular para el riego de los invernaderos y jardines, los cuales son fundamentales para el funcionamiento del establecimiento. En este sentido, disponer de un sistema de almacenamiento eficiente no solo permitiría satisfacer la demanda hídrica actual, sino que también proporcionaría una solución sostenible a largo plazo frente a los desafíos hídricos que enfrenta la institución.

Actualmente, la escuela utiliza el agua del sistema de APR para regar sus cultivos a través de mangueras, lo que representa una parte importante de su consumo de agua. Sin embargo, este sistema presenta limitaciones, ya que la escuela podría enfrentar dificultades en el acceso y la continuidad del suministro debido a los cambios hídricos que puedan ocurrir. Además, el agua del APR no constituye una fuente sostenible, ya que está sujeta a variaciones climáticas y a la creciente demanda de agua en la región, lo que hace que su disponibilidad sea cada vez más incierta.

A pesar de estas limitaciones, la escuela dispone de un canal de agua dentro de su Para el uso de este canal, la escuela paga los derechos correspondientes, pero no ha podido aprovecharlo de manera eficiente. Esto se debe a que el agua del canal se distribuye en turnos entre las casas que comparten este derecho, y a la escuela le corresponde durante horarios en los que no hay personal disponible para gestionar el recurso, como la madrugada.

Esta distribución en turnos impide el uso efectivo del agua cuando realmente se necesita para el riego de los cultivos. Este sistema de distribución genera un desperdicio de recursos, ya que la escuela no puede aprovechar el agua en el momento adecuado, limitando su capacidad de riego y desperdiciando un recurso que podría utilizarse de

manera más eficiente. El diseño de un sistema de almacenamiento de agua permitiría acumular el agua proveniente del canal, ofreciendo a la escuela una forma más eficaz de gestionarla y garantizando su uso oportuno para el riego.

Recolección de datos

El proceso de recolección de datos se divide en tres visitas a la escuela, las cuales permiten obtener la información necesaria para los análisis y el diseño de la solución propuesta:

- Primera visita: Se lleva a cabo una reunión junto a la directora de la escuela, Anaís Vega, para obtener una visión general del establecimiento y sus necesidades. Durante esta visita, se inspecciona el canal de riego, el terreno cultivable, los invernaderos y los espacios educativos del establecimiento.
- Segunda visita: Se realiza una nueva visita al establecimiento debido a cambios realizados desde la visita anterior, lo que permite realizar una evaluación más detallada de los ajustes en el sistema de riego y las condiciones del terreno.
- Tercera visita: Se toman muestras de agua en la escuela para realizar los análisis de calidad. Se recolectan 250 mL de agua en un frasco estéril para análisis microbiológicos y 1.500 mL para análisis físicos y químicos. Además, se realizan mediciones detalladas del canal y del terreno cultivable para asegurar que el diseño del sistema de riego fuera viable en el espacio disponible

Para evaluar la calidad del agua en la Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro, se realizan análisis físicos, químicos y biológicos. A continuación, se describen los procedimientos seguidos para cada tipo de análisis:

Análisis físico-químicos

- Temperatura: La temperatura del agua se mide utilizando un termómetro digital.
- pH: El pH del agua se determina mediante un medidor digital de pH, que proporciona una medición precisa de la acidez o alcalinidad del agua.
- Sólidos disueltos totales: Los sólidos disueltos totales se miden utilizando un multiparámetro. Este dispositivo estima la concentración total de sales y otros compuestos disueltos en el agua.
- Conductividad: La conductividad eléctrica del agua fue determinada con el mismo multiparámetro, lo que permite medir la capacidad del agua para conducir electricidad, y a su vez, estimar la cantidad de sales disueltas.

- Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto se mide usando un medidor digital de oxígeno disuelto, este evalúa la calidad del agua y su capacidad para soportar organismos acuáticos.

Análisis biológicos

- Coliformes totales (NMP/100 mL): Para determinar la presencia de coliformes totales, se utiliza el método NMP (Número Más Probable). Una muestra de agua se inocula en un medio específico que favorece el crecimiento de coliformes. Después de un período de incubación, se determina la cantidad de coliformes en 100 ml de agua, lo que indica la posible contaminación fecal.
- *Escherichia coli* (P/A): La presencia de *Escherichia coli* (*E. coli*), un indicador de contaminación fecal reciente, se determina utilizando el método P/A (Presencia/Absencia). Las muestras se analizan en el laboratorio para verificar si *E. coli* está presente, para evaluar el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua.
- Las muestras de agua se toman en frascos estériles y se mantienen a baja temperatura durante el transporte al laboratorio para evitar que posibles microorganismos crezcan o se modifiquen durante el tiempo de traslado. Este procedimiento asegura que los resultados sean precisos y representen con precisión la calidad del agua en el momento de la recolección.

Solución propuesta

Ante la problemática de la escasez hídrica y la importancia de optimizar el uso y ahorro del agua proveniente del sistema APR para riego en la Escuela Paso Histórico, se propone la implementación de un sistema de almacenamiento de agua. Este sistema permitirá almacenar el agua disponible durante los meses en que el canal la suministra, para su uso exclusivo en riego agrícola, garantizando que los cultivos del establecimiento puedan ser regados de manera eficiente y sostenible. Además, se determinarán los parámetros que deben cumplirse para garantizar que el agua almacenada sea adecuada para el riego, respetando las normativas legales y asegurando que no se vea afectada la calidad del suelo ni de los cultivos. Este sistema no solo busca optimizar el uso del recurso hídrico disponible, sino también garantizar su correcta utilización bajo las regulaciones vigentes, contribuyendo así a una gestión más sostenible y responsable del agua en el contexto escolar y agrícola.

Para resolver esta problemática se propone un sistema que no solo tiene un impacto práctico inmediato, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad y economía circular de la Escuela. Al almacenar el agua proveniente del canal, la escuela

podrá gestionar de manera más eficiente los recursos hídricos disponibles, reduciendo el desperdicio y garantizando su uso en los momentos más críticos para el riego. Este enfoque se basa en un ciclo de uso y reutilización, lo cual es fundamental para promover la sostenibilidad a largo plazo, al aprovechar los recursos naturales de forma responsable y maximizar su eficiencia.

Además, la implementación de un sistema de almacenamiento permitirá a la escuela disminuir la dependencia del sistema de APR, reduciendo la presión sobre esta fuente de agua para actividades no esenciales como el riego. Esto contribuirá a aliviar la carga sobre las infraestructuras de agua potable, lo que no solo tiene un beneficio económico para la escuela, sino también para la comunidad, al hacer un uso más racional y equitativo del agua.

Desde una perspectiva económica, el diseño de este sistema de almacenamiento no solo representa una inversión a corto plazo, sino que también generará ahorros significativos en el uso de agua del sistema APR a largo plazo. Al utilizar el agua almacenada en lugar de depender exclusivamente del suministro externo, la escuela podría reducir su consumo de agua en aproximadamente un 10 % anualmente. Además, la capacidad de gestionar el agua de manera más eficiente puede liberar recursos para otros aspectos del funcionamiento escolar, como la mejora de las instalaciones educativas o la expansión de actividades agrícolas y ambientales.

Por otro lado, la instalación de un sistema de almacenamiento de agua refuerza la educación ambiental dentro de la escuela, proporcionando una herramienta práctica para enseñar a los estudiantes sobre la importancia de la gestión responsable de los recursos naturales. Este tipo de proyectos no solo resuelven necesidades inmediatas, sino que también fomentan una cultura de sostenibilidad que tiene efectos positivos a largo plazo en la comunidad escolar y más allá.

Diseño del sistema de almacenamiento de agua

El caudal de agua disponible para la escuela proviene de un canal que es alimentado por el Embalse Chacrillas. La escuela paga los derechos de uso de este canal, pero actualmente enfrenta dificultades para aprovecharlo de manera eficiente debido a su distribución en turnos. El caudal del canal varía según la temporada: durante el verano, el caudal es de 138 L/min, mientras que en invierno, debido a la liberación controlada de agua desde el embalse, el caudal se reduce a 60 L/min.

El agua disponible en el canal se distribuye entre todas las casas que tienen derecho a su uso, incluida la escuela. Esta distribución se realiza mediante turnos asignados, por lo que la cantidad de agua que recibe la escuela varía según el turno y la disponibilidad en cada periodo.

El ciclo de distribución del agua tiene una duración de 22 minutos, y se repite cada

120 horas en verano. Esto proporciona un volumen total de agua de aproximadamente 3.000 litros en cada ciclo. En invierno, el ciclo de distribución del agua tiene una duración de 7 minutos y se repite cada 192 horas, lo que reduce el volumen disponible en cada ciclo. La escuela puede acceder al agua solo en los horarios asignados, los cuales, generalmente, son durante la madrugada, lo que dificulta su uso efectivo para el riego de los cultivos.

Para mejorar la eficiencia en el uso del agua y garantizar un suministro más constante, se propone la instalación de un estanque de almacenamiento en el terreno de la escuela. Este estanque se ubicará en un área cercana al ingreso del canal al establecimiento, antes de que el agua se distribuya por los subcanales, tal como se muestra en el cuadro anaranjado de la figura 15. Su ubicación, dentro del terreno cultivable, permite optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico disponible. La capacidad del estanque se ha calculado en función del volumen de agua acumulado durante el ciclo de verano, cuando el caudal es mayor y el volumen total de agua disponible es de aproximadamente 3.000 litros por ciclo. Este volumen de agua es adecuado para cubrir las necesidades de riego durante los períodos de menor disponibilidad, como en invierno.



Figura 15: Ubicación propuesta para el sistema de almacenamiento de agua en el terreno cultivable del establecimiento (Google, 2024)

En esta memoria se propone utilizar un sistema autónomo, operando con sensores flotadores que detectarán el nivel de agua disponible en el canal. Los sensores activarán automáticamente las bombas cuando haya agua disponible, permitiendo que el agua sea succionada y almacenada en el estanque de manera eficiente. El sistema se encargará de almacenar el agua de manera continua durante los ciclos de distribución, sin necesidad de intervención manual, lo que facilitará el acceso al agua para el riego sin depender de los turnos específicos del canal.

De este modo, el agua almacenada en el estanque se utilizará semanalmente para mantener la eficiencia del sistema de riego, lo que permite que el volumen almacenado se renueve constantemente en cada ciclo de distribución. Esto evita que el agua se quede estancada y se pierda potencialmente, optimizando su uso a lo largo del tiempo.

Para garantizar la durabilidad y el correcto funcionamiento del sistema de bombeo y almacenamiento, es fundamental implementar un programa de mantenimiento preventivo estructurado que abarque tanto las bombas como el estanque. En cuanto a las bombas, se recomienda realizar una inspección visual y limpieza general mensual para detectar posibles daños, eliminar sedimentos acumulados y asegurar el buen estado de los componentes externos. Cada seis meses, es necesario revisar los sellos mecánicos y juntas para evitar fugas, así como lubricar los cojinetes siguiendo las indicaciones del fabricante, con el fin de minimizar el desgaste y asegurar un funcionamiento suave. Además, una evaluación anual del sistema eléctrico, incluyendo aislamiento, conexiones y estado del motor, es esencial para prevenir fallas. Se sugiere también monitorear continuamente o, al menos trimestralmente, las vibraciones y temperaturas para identificar signos tempranos de desgaste o desalineación, y realizar una verificación anual de la alineación y balanceo entre motor y bomba para reducir vibraciones y estrés mecánico, prolongando así la vida útil del equipo y evitando paradas inesperadas (Rivero, 2020; Xylem, 2022).

Por otro lado, el mantenimiento del estanque de almacenamiento incluye limpiezas periódicas al menos una vez al año para remover sedimentos, hojas y algas que puedan afectar la calidad del agua y obstruir las salidas. Asimismo, es importante revisar la integridad estructural del estanque para detectar fisuras o posibles filtraciones que puedan provocar pérdidas o contaminación. Se debe mantener en buen estado cualquier sistema de filtración o rejillas en las entradas de agua, y asegurar su correcto funcionamiento para reducir la evaporación y el crecimiento de algas (Servicio Agrícola y Ganadero, 2019).

La aplicación rigurosa de estas prácticas de mantenimiento puede extender la vida útil de las bombas entre 10 y 15 años, lo que representa un ahorro significativo en costos de reemplazo que pueden superar el 30 % del presupuesto operativo anual. Además, un mantenimiento adecuado reduce el consumo energético hasta en un 15 %, debido a que las bombas operan en condiciones óptimas sin sobreesfuerzos ni cavitación (Xylem, 2022). En cuanto al sistema de almacenamiento, la limpieza y reparación oportuna del estanque minimizan pérdidas de agua por filtraciones y evaporación, pudiendo mejorar la eficiencia hídrica hasta en un 20 %. En conjunto, estas acciones optimizan el desempeño global del sistema, disminuyen los gastos en reparaciones y energía, y aseguran un suministro estable y confiable de agua para riego, factores esenciales en contextos donde la eficiencia y sostenibilidad son prioritarias.

Impacto ambiental y sostenibilidad

La implementación del sistema de almacenamiento de agua propuesto para la Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro no solo tiene como objetivo optimizar el uso de los recursos hídricos disponibles, sino también contribuir de manera significativa a la sostenibilidad ambiental. El sistema propuesto utiliza energía solar para alimentar las bombas. El uso de paneles solares garantiza una fuente de energía limpia y renovable, reduciendo la dependencia de la red eléctrica y minimizando la huella de carbono de la escuela. Este enfoque contribuye a la eficiencia energética, asegurando que el sistema sea autónomo y ecoamigable.

Además, la integración de sensores flotadores y bombas automáticas en el sistema propuesto permite que el agua se utilice de manera eficiente, evitando desperdicios y optimizando el recurso hídrico durante todo el ciclo de distribución. La propuesta de reutilización de aguas grises complementa este enfoque, reduciendo el consumo de agua potable y aliviando la presión sobre las fuentes hídricas locales.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados y del diseño propuesto para mejorar la gestión del agua en la Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro. Además, se detallan los aspectos clave del diseño del sistema de almacenamiento de agua, que busca optimizar el uso de los recursos hídricos disponibles, especialmente en los meses de alta demanda. Estos resultados y el diseño propuesto servirán como base para la implementación de un sistema más eficiente y autónomo, que garantice la disponibilidad de agua para las actividades agroecológicas.

Calidad del agua

A continuación se presentan los resultados de los análisis de calidad del agua realizados en la escuela. Se incluyen tanto los análisis físico-químicos como biológicos, los cuales permiten evaluar la idoneidad del agua para consumo y riego en el establecimiento.

Análisis físico-químico

Tabla 4: Resultados del análisis físico-químico de calidad del agua

Parámetro	Valor Medido	Rango Aceptable
pH	7,23	5,5 - 9,0
Conductividad específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	447,56	≤ 750
Sólidos disueltos totales (mg/L a 105°C)	286,43	≤ 500
Oxígeno disuelto (mg/L a 25°C)	5,71	-

Análisis biológico

Tabla 5: Resultados del análisis biológico de calidad del agua

Parámetro	Valor Medido	Rango Aceptable
Coliformes totales (NMP/100 mL)	<1	≤ 1000
<i>Escherichia coli</i> (P/A)	Ausencia	-

Los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos y biológicos de la Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro cumplen con los parámetros establecidos por la NCh 1333:1978 modificada en 1987 sobre la calidad del agua para riego agrícola. Los valores de pH, conductividad específica y TDS se encuentran dentro de los rangos aceptables establecidos por dicha norma, lo que garantiza que el agua es apta para su uso en el riego de huertos y espacios verdes. Aunque la NCh 1333 no incluye parámetros como oxígeno disuelto y *Escherichia coli*, estos también fueron analizados y los resultados mostraron valores adecuados: el oxígeno disuelto se encuentra dentro de un rango saludable para los cultivos y no se detectó presencia de *Escherichia coli*, lo que indica que el agua no presenta riesgos microbiológicos para el uso agrícola.

Para garantizar que el agua almacenada en los estanques mantenga una calidad adecuada para el riego, es fundamental realizar análisis periódicos que evalúen parámetros físicos, químicos y microbiológicos, como el pH, la turbidez, la cantidad de sólidos suspendidos y la presencia de microorganismos indicadores como coliformes totales y *E. coli*. Estos controles, recomendados cada tres a seis meses, permiten asegurar que el agua no contenga contaminantes que puedan afectar la salud de los cultivos o deteriorar el sistema de riego.

Diseño del sistema de almacenamiento

El sistema propuesto para la Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro incluye la instalación de un estanque de almacenamiento de 3.000 litros de capacidad aproximadamente. Este estanque permitirá almacenar el agua proveniente del canal de riego y aprovecharla eficientemente para las actividades agroecológicas y el consumo escolar. En las figuras 16 y 17 se presenta el diseño del sistema.

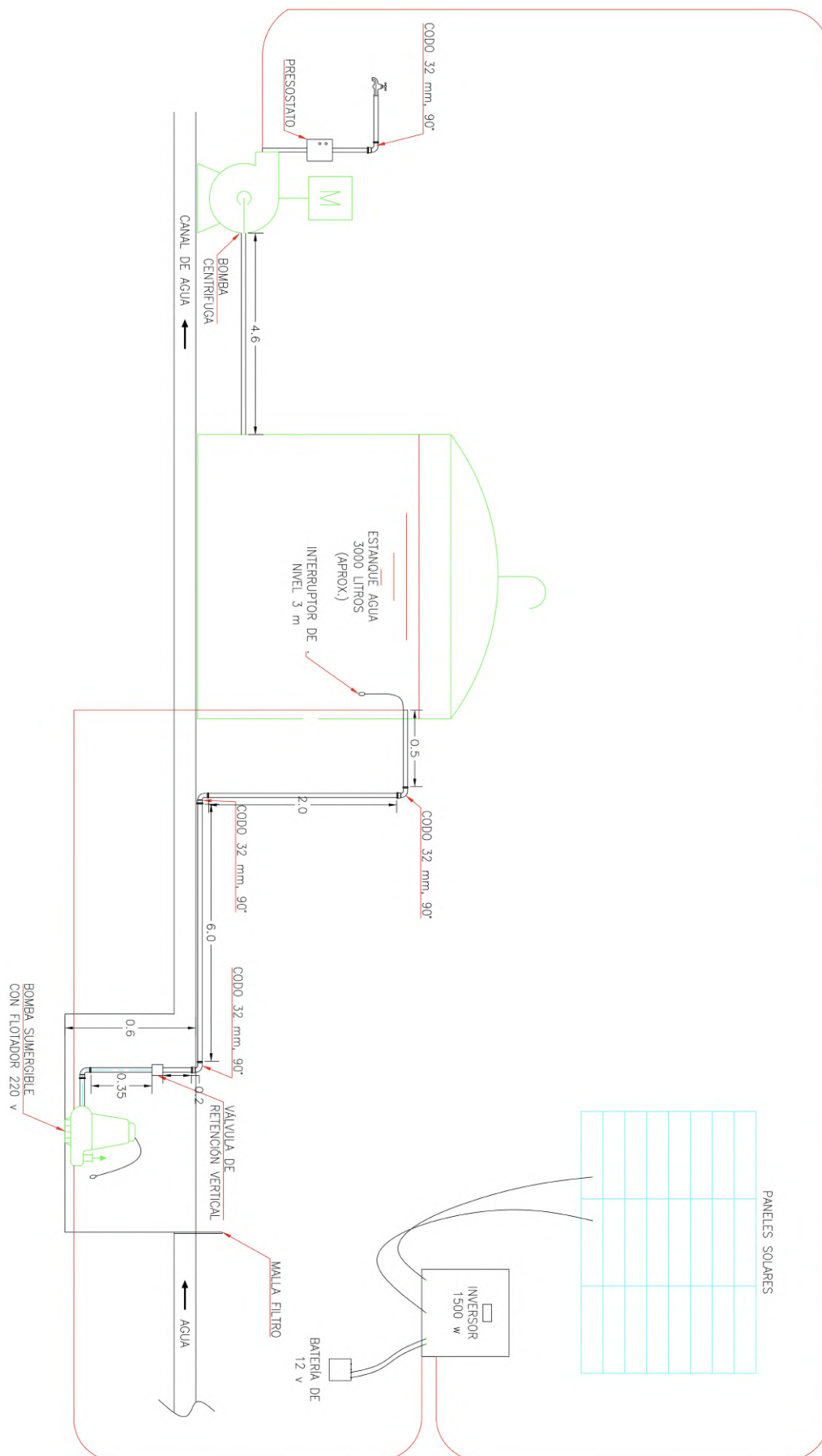


Figura 16: Diagrama del diseño del sistema de almacenamiento de agua

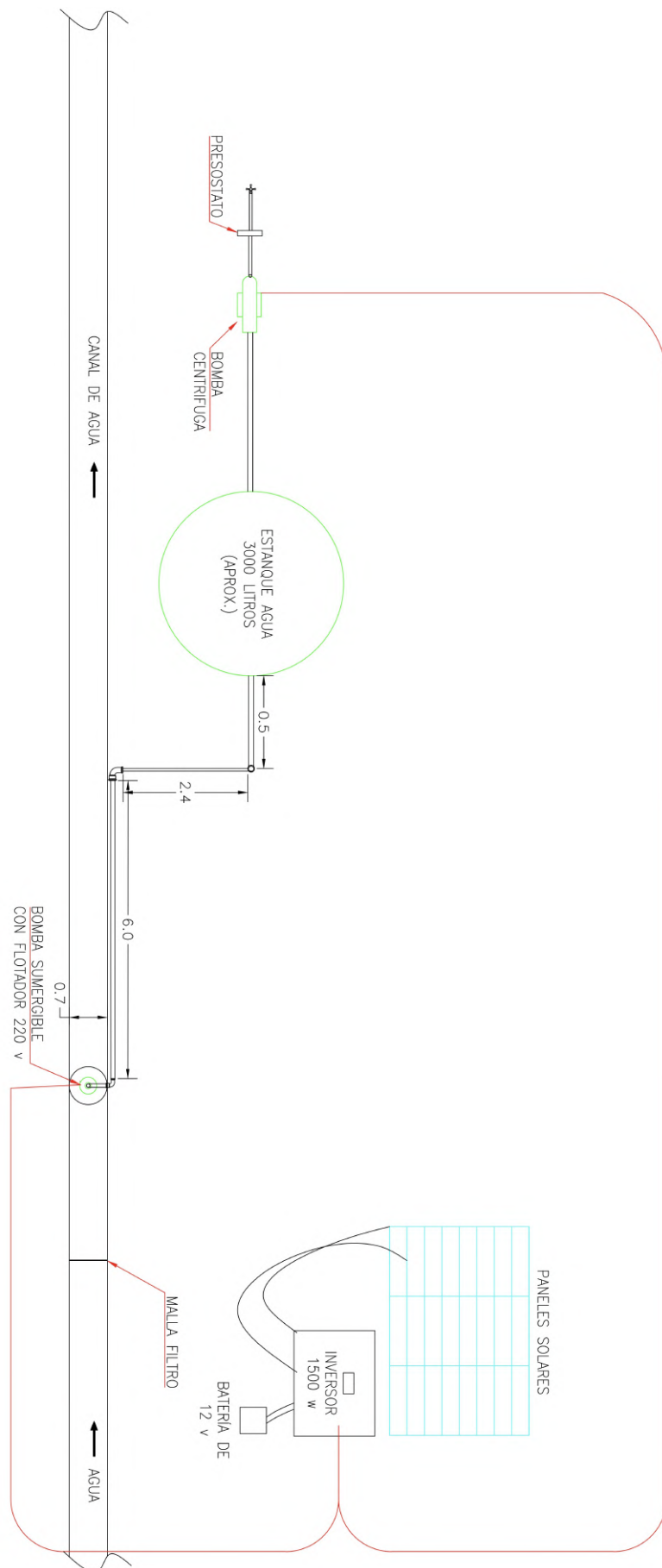


Figura 17: Vista en planta del diseño del sistema de almacenamiento de agua

Elementos del sistema de almacenamiento

El sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- Estanque de agua de con una capacidad de 3.4000 litros, fabricado en polietileno LLDPE, material de alta resistencia y durabilidad, especialmente diseñado para el almacenamiento de agua en condiciones exteriores.
- Bomba centrífuga para la succión del agua y su posterior distribución a los espacios de riego, fabricada en metal y alimentada eléctricamente. Con un caudal máximo de 100 L/min, potencia de 1 HP, capacidad de succión de 8 m y una altura máxima de elevación de 25 m.
- Bomba sumergible con flotador para el control automático del nivel de agua en el estanque, activando la bomba cuando el nivel sea adecuado. Fabricado en cobre, alimentada eléctricamente, con un caudal máximo de 167 L/min, potencia de 0,67 HP, capacidad de succión de 7,5 m.
- Malla galvanizada para filtrar residuos sólidos de gran tamaño como hojas, ramas y sedimentos gruesos. Fabricada en alambre galvanizado en caliente, con una apertura de 4 mm, permite un flujo eficiente de agua evitando obstrucciones en la bomba.
- Presostato para controlar la presión del sistema y asegurar su funcionamiento dentro de los parámetros establecidos.
- Válvula de retención vertical para evitar el retroceso del agua y garantizar que no se pierda el flujo de agua del sistema.
- Interruptor de nivel de 3 m para automatizar el control del nivel de agua en el estanque, activando o desactivando la bomba sumergible cuando el nivel sea adecuado. El flotador integrado sube o baja con el agua, regulando el flujo para evitar el sobrellenado del estanque.
- Tuberías de PVC de 32 mm, necesarias para interconectar todos los componentes del sistema de riego, como el estanque, las bombas y los puntos de distribución de agua. Estas tuberías asegurarán la correcta circulación del agua.
- Codos de PVC de 32 mm, utilizados para las conexiones del sistema de tuberías y asegurando la correcta circulación del agua.
- Llave de bola con terminal PVC de 32 mm para el control manual del flujo de agua. Esta válvula de bola se instala al final del sistema de distribución, permitiendo extraer el agua almacenada para ser utilizada en los huertos y jardines escolares.

- Paneles solares de 12 V para alimentar el sistema de energía, proporcionando una fuente sostenible y autónoma para las bombas y demás equipos. La instalación de baterías de litio permitirá almacenar la energía generada por los paneles solares para su uso durante las horas sin luz solar.
- Inversor de 1500 W, que convierte la energía solar en corriente alterna para alimentar las bombas.

Este sistema de energía solar asegura que el funcionamiento del sistema sea autónomo, sin depender de la red eléctrica, lo que lo hace más eficiente y sostenible a largo plazo.

Para calcular el volumen de agua que se acumula en el estanque, se considera el periodo de verano, cuando el caudal del canal es mayor. El caudal es de 138 litros por minuto y el ciclo de distribución dura 22 minutos, repitiéndose cada 120 horas (5 días). Por ciclo, el volumen entregado se calcula como:

$$V_{\text{caudal máximo}} = 138 \text{ L/min} \times 22 \text{ min} = 3036 \text{ L}$$

Este cálculo coincide con la capacidad del estanque seleccionado, que es de 3.400 litros. La estrategia de operación consiste en utilizar toda el agua almacenada tan pronto como el estanque se llene, evitando que el agua quede estancada. De esta manera, se maximiza el aprovechamiento del recurso y se mantiene la calidad del agua, renovando constantemente el volumen disponible para el riego.

Por otro lado, para calcular el número (N) de paneles solares y baterías necesarias para alimentar el sistema, es necesario convertir la potencia (P) de cada bomba de HP a kW. Además, estimando que la bomba sumergible se utiliza durante 1 hora por semana debido al caudal y al tiempo de funcionamiento del canal, y que la bomba centrífuga se utiliza 11 horas a la semana, suponiendo que el estanque está completamente lleno y que se utiliza un caudal mínimo de 5 L/min, se obtiene un tiempo de funcionamiento de 680 minutos, lo cual equivale a 11,3 horas por semana. A continuación, se presentan los cálculos de la energía (E) que consume cada bomba:

Para la electrobomba sumergible:

$$P_{\text{bomba sumergible}} = 0,67 \text{ HP} \times 0,7457 \text{ kW/HP} = 0,499 \text{ kW}$$

$$E_{\text{bomba sumergible}} = \frac{0,499 \text{ kW} \times 1 \text{ h}}{7 \text{ días}} = 0,071 \text{ kWh/día}$$

Para la electrobomba centrífuga:

$$P_{\text{bomba centrífuga}} = 1 \text{ HP} \times 0,7457 \text{ kW/HP} = 0,746 \text{ kW}$$

$$E_{\text{bomba centrífuga}} = \frac{0,746 \text{ kW} \times 11 \text{ h}}{7 \text{ días}} = 1,171 \text{ kWh/día}$$

De este modo, la energía total consumida por ambas bombas diarias es:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{bomba sumergible}} + E_{\text{bomba centrífuga}} = 0,071 \text{ kWh/día} + 1,171 \text{ kWh/día} = 1,242 \text{ kWh/día}$$

Para calcular la cantidad de paneles solares necesarios para este sistema, se consideran paneles solares de 100 W (0,1 kW) y una irradiación promedio de 5 horas al día (Dirección Meteorología de Chile, 2025). La energía generada por cada panel solar y el número de paneles necesarios está dado por:

$$E_{\text{panel}} = P_{\text{panel}} \times H_{\text{sol}} = 0,1 \text{ kW} \times 5 \text{ h} = 0,5 \text{ kWh/día}$$

$$N_{\text{paneles}} = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{panel}}} = \frac{1,242 \text{ kWh/día}}{0,5 \text{ kWh/día}} \approx 2,484 \text{ paneles}$$

Esto significa que se necesitan al menos 3 paneles solares de 100 W para cubrir el consumo de energía de las bombas.

Además, para almacenar suficiente energía para operar el sistema sin depender de la red eléctrica, se necesita calcular la capacidad total de las baterías. Para ello, se calcula la energía total que se necesita almacenar para un día completo de funcionamiento del sistema. Considerando que cada panel solar genera 0,5 kWh/día, la energía total generada por los 3 paneles solares es:

$$E_{\text{paneles totales}} = 3 \times 0,5 \text{ kWh/día} = 1,5 \text{ kWh/día}$$

Luego, la capacidad (C) de cada batería, utilizando baterías 12 V y 200 Ah, cuya capacidad total se calcula multiplicando el voltaje por la capacidad en amperios-hora:

$$C_{\text{batería}} = 12 \text{ V} \times 200 \text{ Ah} = 2,4 \text{ kWh/batería}$$

Así, el número de baterías necesarias para almacenar 1,5 kWh de energía diaria es:

$$N_{\text{baterías}} = \frac{E_{\text{paneles totales}}}{C_{\text{batería}}} = \frac{1,5 \text{ kWh}}{2,4 \text{ kWh/batería}} \approx 0,625 \text{ baterías}$$

Este resultado indica que, con una sola batería de 12 V y 200 Ah, sería suficiente para almacenar la energía generada por los paneles solares en un día.

Por último, para determinar el tamaño del inversor necesario para alimentar las bombas, primero se calcula la potencia total requerida. La potencia de la bomba sumergible es de 0,499 kW y la de la bomba centrífuga es de 0,746 kW. De este modo, la potencia total requerida es:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{bomba sumergible}} + P_{\text{bomba centrífuga}} = 0,499 \text{ kW} + 0,746 \text{ kW} = 1,245 \text{ kW}$$

Luego, al agregar un margen de seguridad del 20 % para cubrir una posible sobrecarga de potencia, la potencia necesaria para el inversor es:

$$P_{\text{inversor}} = P_{\text{total}} \times (1 + 0,20) = 1,245 \text{ kW} \times 1,20 = 1,494 \text{ kW}$$

Por lo tanto, un inversor de 1,5 kW es adecuado para este sistema, proporcionando un margen de seguridad adicional.

A continuación, en la tabla 6, se presentan los equipos y materiales necesarios para la implementación del sistema, junto con la estimación del presupuesto requerido para su adquisición, excluyendo los costos relacionados con la instalación.

Tabla 6: Presupuesto estimado para los equipos y materiales del sistema de almacenamiento de agua

Descripción	Precio unitario (CLP)	Cantidad	Precio total (CLP)
Estanque vertical estándar 3400 L	377.794	1	377.794
Electrobomba centrífuga 1 HP 100 L/min	59.990	1	59.990
Electrobomba sumergible 0,67 HP 167 L/min	59.990	1	59.990
Malla N°4 galvanizada harnero	11.990	1	11.990
Controlador automático de presión de la bomba	25.190	1	25.190
Válvula de retención PVC 32 mm	11.990	1	11.990
Interruptor de nivel 3 m	12.690	1	12.690
Tubo PVC agua 32 mm 6 m	4.780	3	14.340
Codos 90° PVC 32 mm	260	5	1.300
Llave de bola de jardín	2.090	1	2.090
Terminal PVC 32 mm	330	4	1.320
Panel solar 100W 12V celdas monocristalinas	41.800	3	125.400
Inversor y cargador de baterías 12V - 220V 1500W	355.800	1	355.800
Baterías 200Ah 12V	256.271	1	256.271
Costo de envío (aprox.)	95.000	-	95.000
Mano de obra (aprox.)	350.000	-	350.000
Total (CLP)			1.761.155

Conclusiones

El diseño del sistema de almacenamiento de agua para riego en la Escuela Paso Histórico El Tártaro ofrece una solución técnica viable y sostenible para enfrentar la escasez hídrica que afecta a la comunidad. La propuesta permite acumular agua del canal en cualquier momento del día, sin depender de horarios específicos, gracias a un sistema automatizado de bombeo con sensores que optimizan su funcionamiento.

El uso de energía solar para alimentar las bombas asegura la autonomía del sistema y reduce la dependencia de la red eléctrica, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del proyecto. Los análisis de calidad del agua confirmaron que el recurso es apto para riego agrícola, cumpliendo con la normativa chilena vigente y garantizando la seguridad para los cultivos y el suelo.

La implementación de este sistema permite reducir la presión sobre el consumo de agua potable en la escuela, optimizando el uso del recurso hídrico disponible para actividades agroecológicas y educativas. Además, promueve una gestión responsable y eficiente del agua dentro de la comunidad escolar, fortaleciendo la integración entre infraestructura y educación ambiental.

Además, el sistema propuesto no solo responde a los requerimientos actuales de suministro hídrico para riego, sino que también constituye un modelo replicable que puede ser adaptado en otras instituciones con desafíos similares, aportando a la gestión sostenible del agua y al desarrollo de prácticas sustentables en el contexto local.

Recomendaciones

Se recomienda que la escuela continúe gestionando financiamiento para la implementación y construcción del sistema, ya que el proyecto actual contempla solamente su diseño. Esta solución tiene potencial para ser replicada en otras escuelas que enfrenten necesidades similares, siempre que dispongan de una fuente adicional de agua accesible, como un pozo o un canal cercano. La adaptabilidad del proyecto a las condiciones locales de cada establecimiento lo hace viable para distintas comunidades con desafíos hídricos comparables.

Finalmente, la efectividad del sistema depende directamente de la disponibilidad del recurso en el canal, lo que introduce una dependencia de las condiciones climáticas y de la gestión local. Por ello, se recomienda monitorear constantemente la disponibilidad de agua y adaptar el sistema a las condiciones cambiantes de la región. Además, se recomienda fomentar la colaboración entre los actores locales que intervienen en la gestión del canal, para asegurar la calidad del agua y el uso sostenible del recurso.

Asimismo, se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo riguroso para el sistema de bombeo y almacenamiento, que incluya inspecciones periódicas y limpieza de componentes y revisión estructural del estanque. Además, se recomienda realizar análisis periódicos para asegurar la calidad del agua almacenada, que puede variar según la gestión del canal. Para mantener esta calidad, es fundamental cubrir el estanque para evitar la exposición directa a la luz solar y renovar el agua regularmente, utilizando todo el volumen antes del siguiente abastecimiento. Estas medidas previenen el crecimiento de bacterias y algas, garantizando un uso eficiente y seguro del recurso.

Referencias

- Aguaplanet. (2024). Válvula de retención uPVC 32mm. <https://aguaplanet.cl/producto/valvula-de-retencion-upvc-32mm/>
- Álvarez-Garreton, C., Boisier, J., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillet, A., Aldunce, P., Urrutia-Jalabert, R., Zambrano-Bigiarini, M., Guevara, G., Galleguillos, M., Muñoz, A., Christie, D., Marinao, R., & Garreaud, R. (2023). Seguridad Hídrica en Chile: Caracterización y Perspectivas de Futuro. https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2023/12/Informe_Seguridad_HidricaCR2.pdf
- Baeza, E. (2023, octubre). Servicios de Agua Potable Rural: Modelos de Gestión y sus características. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1100197>
- Biblioteca del Congreso Nacional. (2024). *Impacto ambiental de la instalación de paneles solares como fuente de suministro de energía eléctrica*. Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones, Biblioteca del Congreso Nacional. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/36018/1/Minuta_8_24_Impacto_ambiental_de_la_instalacion_de_paneles_solares_como_fuente_de_suministro_de_energia_electrica.pdf
- Bioplastic. (2024). Estanque Vertical Estándar 3400 Lts (EVS3400). <https://www.bioplastic.cl/producto/estanque-vertical-estandar-3400-lts-evs3400>
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (2023). Policy brief CR2 — Mujeres rurales y gestión del agua: Hacia una seguridad hídrica con enfoque de género en Chile. <https://cl.boell.org/sites/default/files/2024-05/policy-brief-16-mujeres-rurales-y-gestion-del-agua.pdf>
- Centro de Información de Recursos Naturales. (2016). Turismo en la Comuna de Putaendo. https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2020/03/Putando_rec_nat_proy-2.pdf
- Centro de Información de Recursos Naturales. (2024). *Recursos Naturales Comuna de Putaendo* (Informe). https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2024/11/Putando_rec_nat.pdf
- Comisión Nacional de Riego. (2013). Manual del Regante. https://www.scmaipo.cl/canalistas/wp-content/uploads/2021/08/manual_regante.pdf
- Comisión Nacional de Riego. (2024a). Informe Técnico CNR-0589: Análisis de Proyectos de Riego con Cambio Climático. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/349bc1f1-e305-4f08-aec5-b15fa1a8087f>
- Comisión Nacional de Riego. (2024b). Informe Técnico CNR-0593: Estudio de Reúso de Aguas Servidas Tratadas en Chile. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/d15403c1-29a1-4e77-8d49-3c78942702b9>

- Congreso Nacional de Chile. (2017, febrero). Ley N° 20.998, regula los servicios sanitarios rurales [Publicada en el Diario Oficial de la República de Chile el 14 de febrero de 2017.]. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1100197>
- Congreso Nacional de Chile. (2022, diciembre). Ley N° 21.520: Modifica la Ley N° 20.998 que regula los servicios sanitarios rurales para ajustar sus requisitos y plazos de implementación [Publicada en el Diario Oficial el 14 de diciembre de 2022.]. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1186083>
- Congreso Nacional de Chile. (2023, julio). Servicios Sanitarios Rurales: Explicación de la Ley que regula los servicios de agua potable y saneamiento en sectores rurales [Actualizado al 24 de julio de 2023]. <https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/servicios-sanitarios-rurales>
- Corchete, S. (1987). Educación Ambiental en el Medio Rural [Hoja Divulgadora Núm. 17/87, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España]. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1987_17.pdf
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2019). Programa de Agua Potable Rural MOP.
- Dirección General de Aguas. (2004a). Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad Cuenca del río Aconcagua. <https://mma.gob.cl/wpcontent/uploads/2017/12/Aconcagua.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2004b). Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Aconcagua. Informe Técnico. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/4b3b5fe4-7e0f-41aa-987d10a5c8c383e3/content>
- Dirección General de Aguas. (2006). Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del río Petorca y Ligua. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/bf6a05cb-a707-46a9-8744-64a7f1545f7a/content>
- Dirección General de Aguas. (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 - 2025. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/07b3cb30-cc06-4bae-99bd-0b311d32e824/content>
- Dirección General de Aguas. (2016). Disponibilidad de recursos hídricos y derechos de agua en el Valle del Aconcagua [Informe técnico DARH N° 333]. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/eb135922-96dd-4657-8921-8357404bb330/content>
- Dirección General de Aguas. (2017). Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile [Elaborado por Hídrica Consultores SpA y Aquaterra Ingenieros Ltda para la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas]. <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/01%20Informe/Informe%20Final%20Vol%20III.pdf>

- Dirección General de Vinculación con el Medio, UTFSM. (2023, abril). Reformulación Proyecto FSM2395: Potenciar la capacidad de gestión hídrica en comunidades rurales.
- Dirección General de Vinculación con el Medio, UTFSM. (2024a). Diagnóstico y Contextualización de la Escuela Paso Histórico - Putaendo.
- Dirección General de Vinculación con el Medio, UTFSM. (2024b). Entrevista de Caracterización de la Escuela Paso Histórico - Proyecto FMS2395.
- Dirección Meteorología de Chile. (2025). Inventario de Componentes por Estación, Estación Putaendo. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/inventarioComponentesPorEstacion/320092/89/200>
- Dirección Meteorológica de Chile. (2023). Reporte de Evolución del Clima 2023.
- Dirección Meteorológica de Chile. (2024). Índice Climático y Tendencia Histórica de la Estación 320019 [Datos históricos y análisis de tendencias climáticas]. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/indiceClimaticoTendencia/320019/119>
- Easy. (2024). Llave bola jardín 1/2 Flustem. <https://www.easy.cl/llave-bola-jardin-1-2-flustem-1253000/p>
- Enertik. (2024a). Inversor-Cargador MPPT Híbrido (Backup 12V) – 220V 1500W. <https://enertik.com/cl/tienda/inversores/inversores-cargadores/con-regulador-solar-mppt/inversor-cargador-mppt-hibrido-backup-12v-220v-1500w-premium>
- Enertik. (2024b). Panel Solar Enertik Monocristalino 100W. <https://enertik.com/cl/tienda/fotovoltaica/paneles-solares/panel-solar-enertik-monocristalino-100w/>
- Fernández, D. (2023). Comunas sustentables: Respuesta para el derecho privado de aguas, caso Putaendo. <https://repositorio.udd.cl/server/api/core/bitstreams/de13e38f-eeb0-498e-ad71-a7f00908a163/content>
- Fundación Amulén. (2021). Radiografía del Agua Rural de Chile: Visualización de un Problema Oculto. https://www.fundacionamulen.cl/wp-content/uploads/2020/07/Informe_Amulen.pdf
- Fundación para la Innovación Agraria. (2022). Resultados y lecciones en Programa de eficiencia hídrica para la pequeña agricultura de la Región de Valparaíso. *Serie Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario*.
- Google. (2024). Escuela General El Tártaro, Putaendo, Chile. <https://g.co/kgs/fVehACD>
- Grupo Medioambiental del Sistema de las Naciones Unidas en Chile. (2021, febrero). Escasez Hídrica en Chile: Desafíos Pendientes [Documento liderado por FAO, PNUMA, PNUD, PMA y UNESCO]. <https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20H%C3%ADricos.FINAL.17%20de%20marzo.pdf>

- Instituto Nacional de Estadísticas. (2024). Censo 2024 - Resultados. <https://censo2024.ine.gob.cl/resultados/>
- Instituto Nacional de Normalización. (1987). NCh1333.Of1978 Mod.1987: Calidad del agua para diferentes usos. [https://www.bcn.cl/catalogo/client/es_CL/publico/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD_ILS\\$002f0\\$002fSD_ILS:100363/one?qu=NCh1333.of1978](https://www.bcn.cl/catalogo/client/es_CL/publico/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:100363/one?qu=NCh1333.of1978)
- Instituto Nacional de Normalización. (2005). NCh409/1.Of2005: Agua Potable - Parte 1: Requisitos. <https://www.ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (s.f.). Métodos de almacenamiento del agua. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Chan-M-Metodos-de-almacenamiento-de-agua-version-final.pdf>
- Luebert, F., & Plissock, P. (2012). Variabilidad climática y bioclimas de la Región de Valparaíso, Chile. *Investigaciones Geográficas*. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2012.26408>
- meteoblue. (2024). Archivo climático de Putaendo, Chile. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/putaendo_chile_3874570?fcstlength=1y&year=2023&month=11
- Mi Valle de Aconcagua. (2024, enero). Los Habitantes y su entorno. <https://mivalledeaconcagua.cl/2024/01/26/los-habitantes-y-su-entorno/>
- Millanao, C. (2023). Los agricultores de Putaendo y la reconstrucción de sus prácticas agrícolas en un contexto de crisis medioambiental. <https://repositorio.unab.cl/server/api/core/bitstreams/4fd6d706-eb11-4c0e-9319-fef9ed508d93/content>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2015). Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Agua Potable Rural (APR) [Versión Enero 2015.].
- Ministerio de Educación. (2023). Proyecto Educativo Institucional (PEI) - Escuela Básica Paso Histórico El Tártaro, Putaendo. <https://wwwfs.mineduc.cl/Archivos/infoescuelas/documentos/1304/ProyectoEducativo1304.pdf>
- Ministerio de Energía. (2022). *Guía de evaluación de sistemas fotovoltaicos* (Informe técnico). https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_evaluacion_sistema_fv.pdf
- Ministerio de Obras Públicas. (2015, diciembre). Decreto Supremo N° 50: Reglamento sobre Obras Hidráulicas según el Código de Aguas [Aprueba el reglamento relacionado con el artículo 295 del Código de Aguas]. <https://www.bcn.cl/leychile/Navegar?idNorma=1085618>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2015). *Guía práctica de energía solar* (Accedido el 25 de mayo de 2025). Fondo de Protección Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente. <https://repositorioambiental.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/265P4-Gu%C3%ADa-Energ%C3%ADa-Solar.pdf>

- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad Cuenca del río Aconcagua [Informe sobre la calidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Aconcagua]. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Aconcagua.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2024a). ¿Qué es la educación ambiental? <https://educacion.mma.gob.cl/que-es-educacion-ambiental/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2024b). Red Nacional de Centros de Educación Ambiental. <https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/76445-red-nacional-de-centros-de-educacion-ambiental>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2024c). Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales (SNCAE). <https://sncae.mma.gob.cl/portal>
- Movimiento Social en Defensa del Río Ñuble. (2016). Apuntes sobre la recolección de agua de lluvia [Proyecto “El mundo no se seca: San Fabián cosecha el agua de lluvia”, financiado por el Fondo de Protección Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente].
- Muchnik, E., Luraschi, M., & Maldini, F. (1997). Comercialización de los derechos de aguas en Chile. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4697/S9800018_es.pdf
- Municipalidad de Putaendo. (2013). Rutas Turísticas y Patrimoniales en Putaendo. <https://www.putaendo.cl/documentos/rutas2013.pdf>
- Municipalidad de Putaendo. (2023). Plan Municipal de Cultura Putaendo 2023-2026. <https://www.cultura.gob.cl/redcultura/wpcontent/uploads/sites/69/2023/06/pmcputaendo-2023-2026.pdf>
- Palmisano, T. (2020). Conflictos socioambientales y territoriales en espacios rurales de la comuna de Putaendo (Chile). *Mundo Agrario*. <https://doi.org/10.24215/15155994e151>
- Poder Ambiental. (2024, mayo). ¿Cómo se regula el agua potable rural? <https://consultas.poderambiental.cl/article/69-como-se-regula-el-agua-potable-rural>
- Ramírez, J.-I. (2021). *Diagnóstico de los factores hidrogeológicos que afectan el funcionamiento del acuífero Putaendo, Región de Valparaíso, Chile* [Tesis doctoral, Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Carrera de Geología]. <https://repositorio.unab.cl/items/7811d8a5-bfab-4466-8ac6-c58ddf0e97a5>
- Rivero, A. (2020). *Implementación de plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales para aumentar su vida útil, en proyecto de gran minería, Arequipa 2019* [Tesis de Ingeniería Mecánica]. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8538/4/IV_FIN_111_TE_Rivero_Diaz.2020.pdf
- Rulamahue. (2024). Comuna de Putaendo [Última modificación: 07/09/24]. <https://www.rulamahue.cl/fichas/cl05/cl05705.html>

- Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de la Región de Valparaíso. (2024). Efectos del déficit de precipitaciones para la agricultura de la comuna de Putaendo [Ministerio de Agricultura]. <https://doc.digital.gob.cl/validador/XP8UDW-125>
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2019). *Manual Operación y Mantenimiento de Sistemas de Riego Tecnificado con Generación Fotovoltaica*. <https://www.cnr.gob.cl/mdocs-posts/manual-de-operacion-y-mantenion-sistemas-de-riego/?mdocs-file=11114&mdocs-url=false>
- Sodimac. (2024a). Codo 90° PVC P Cementar 32mm 1u. <https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110243909/Codo-90o-PVC-P-Cementar-32mm-1u/110243910>
- Sodimac. (2024b). Controlador electrónico de presión. <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110261062/Controlador-electronico-de-presion/110261067>
- Sodimac. (2024c). Electrobomba centrífuga 1 hp, caudal máximo 100 l/min. <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110243470/Electrobomba-centrifuga-1-hp,-caudal-maximo-100-l-min/110243472>
- Sodimac. (2024d). Electrobomba sumergible 0,67 HP, 167 l/min. <https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110243559/Electrobomba-sumergible-0,67-HP-167-l-min/110243568>
- Sodimac. (2024e). *Interruptor de nivel 3m*. <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110248735/Interruptor-de-nivel-3m/110248742>
- Sodimac. (2024f). Terminal PVC P-CEM HE 32mm x 1u. <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110258620/Terminal-PVC-P-CEM-HE-32mm-x-1-1u/110258625>
- Sodimac. (2024g). Tubo PN 10 Cementar PVC Agua 32 mm x 6 m. https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110283444/Tubo-PN-10-Cementar-PVC-Agua-32-mm-x-6-m/110283453?exp=so_com
- Sodimac. (2025). *0.60 x 1.5 m Malla N°4 galvanizada harnero*. <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110318372/0.60x1.5-m-Malla-N%C2%B04-galvanizada-harnero>
- SURPLAN. (2022). Estudio Plan Regulador Comunal Putaendo. Informe Ambiental. Versión 01. https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/02_IA_PRC_Putaendo.pdf.pdf
- Torres, C. A., & Morales, T. (2022). Sistemas alternativos de captación y almacenamiento de agua desde la perspectiva del metabolismo social, Quibdó, Colombia. *Jangwa Pana*, 21(3), 241-253. <https://doi.org/10.21676/16574923.4785>
- Torres, R. (2019). *Generación fotovoltaica instalada en Chile* (Asesoría Técnica Parlamentaria N.º 122107). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27821/2/Generacion_Fotovoltaica.pdf

- Universidad Técnica Federico Santa María. (2023, abril). Bases para Postulación a Fondos Concursables de Proyectos Departamentales de Vinculación con el Medio USM. <https://vinculacion.usm.cl/wp-content/uploads/2024/06/Bases-FFCC-2024-1-FSM2395-1.pdf>
- Vitel Energía. (2025). Batería Ciclo Profundo Gel 200Ah 12V BlackSun. <https://vitelenergia.com/es/bateria-ciclo-profundo-gel-200ah-12v-blacksun.html>
- Xylem. (2022). *Recomendaciones de diseño para estaciones de bombeo en las que se utilicen bombas axiales o centrífugas Flygt* [Manual técnico, versión final en español]. https://www.xylem.com/siteassets/brand/flygt/brochures/manual_pumpstation_flygt-2022_r5_esp_final_web.pdf

Anexos

Anexo A: Equipos utilizados para los análisis de calidad del agua

Medidor de pH



Figura 18: Medidor de pH utilizado. Elaboración propia, 03 de abril de 2025

Medidor de oxígeno disuelto



Figura 19: Medidor de oxígeno disuelto utilizado. Elaboración propia, 03 de abril de 2025

Medidor de conductividad y sólidos disueltos totales



Figura 20: Medidor multiparámetro utilizado para el análisis de las variables físico-químicas. Elaboración propia, 03 de abril de 2025

Anexo B: Equipos del presupuesto realizado



Figura 21: Estanque vertical estándar 3.400 L Bioplastic (Bioplastic, 2024)

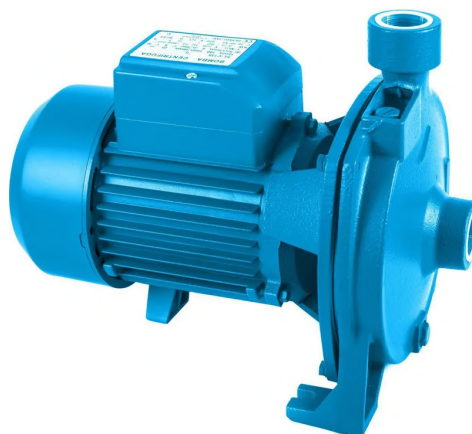


Figura 22: Electrobomba centrífuga 1 HP, caudal máximo 100 L/min Connor (Sodimac, 2024c)



Figura 23: Electrobomba sumergible 0,67 HP 167 L/min Humboldt (Sodimac, 2024d)

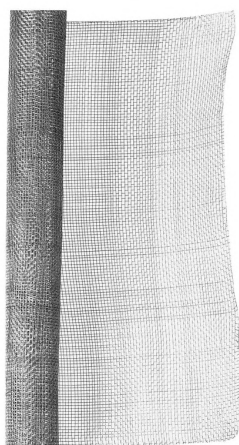


Figura 24: Malla N°4 galvanizada harnero 0,60 x 1,5 m (Sodimac, 2025)



Figura 25: Controlador electrónico de presión Bestflow (Sodimac, 2024b)



Figura 26: Válvula de retención UPVC 32 mm Aguaplanet (Aguaplanet, 2024)



Figura 27: Interruptor de nivel 3 m Bestflow (Sodimac, 2024e)

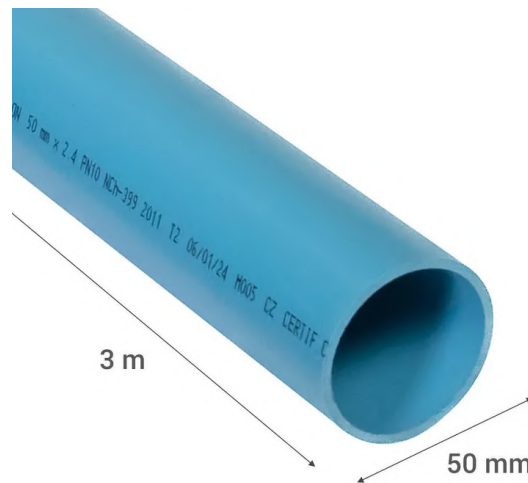


Figura 28: Tubo PN-10 Cementar PVC Agua 32 mm x 6 m (Sodimac, 2024g)



Figura 29: Codo 90° PVC-P Cementar 32 mm (Sodimac, 2024a)

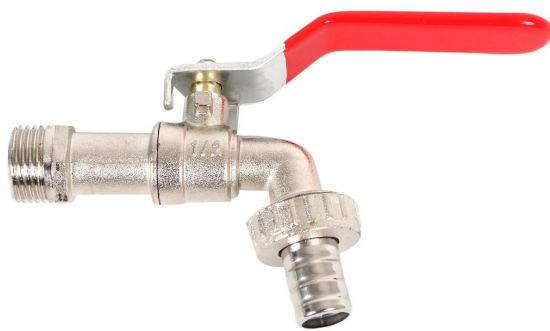


Figura 30: Llave bola jardín 1/2" Flustem (Easy, 2024)



Figura 31: Terminal PVC-P CEM/HE 32 mm x 1" (Sodimac, 2024f)

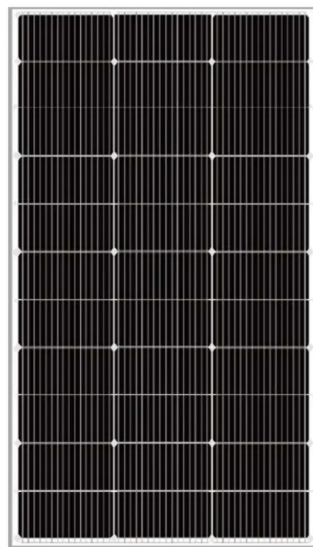


Figura 32: Panel solar Enertik monocristalino 100 W (Enertik, 2024b)



Figura 33: Inversor-cargador MPPT híbrido (backup 12 V) – 220 V 1500 W (Enertik, 2024a)



Figura 34: Caja batería BlackSun 200 Ah 12 (Vitel Energía, 2025)