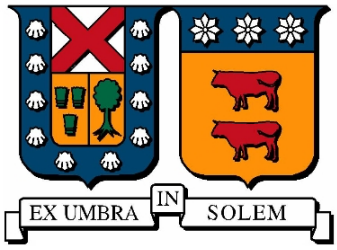
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO – CHILE



PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN SOSTENIBLE EN LA ESCUELA BÁSICA LAS PALMAS EN LA COMUNA DE LLAY LLAY

DOMINIQUE ANDREA LE-QUESNE OYANEDER
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL AMBIENTAL

PROFESOR GUÍA: DANIEL RAMÍREZ LIVINGSTON
PROFESOR CORREFERENTE: FELIPE CARVAJAL MERY

MAYO DE 2025

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi familia, por siempre darme su apoyo y estar presente: a mi mamá, hermana, tías, tíos, abuelas, primos. En especial, a mi papá, Arnaldo, quien, aunque hace poco partió de este mundo, sigue acompañándome en mis pensamientos cada día y fue quien siempre me alentó a estudiar, confió en mis capacidades y me animó a seguir adelante en este proceso.

También le agradezco a Chris, por acompañarme desde que nos conocimos en la universidad, por su apoyo en cada momento, por animarme mientras estudiaba y durante el proceso de escribir la memoria. Te agradezco infinitamente.

Agradezco también a mis amigos Dani, Cata, Guille, Benja, Mati y a todos los amigos que conocí durante mi paso por la universidad y en el intercambio. Gracias por su amistad y apoyo, por las tardes de estudio, las salidas juntos, los años en que fuimos roomies y todos los momentos compartidos.

Gracias al profesor Felipe Carvajal por dedicar parte de su tiempo a entregarme su conocimiento para estructurar y llevar a cabo la memoria, y al profesor Daniel Ramírez, por guiarme, compartir su conocimiento con un enfoque integral y por su disposición para ayudarme y responder mis dudas.

Gracias a Andrea Granados y Pablo Miranda por darme la oportunidad de participar en el proyecto, por resolver las dudas que tuve durante el proceso, por acompañarme en las visitas a la escuela, por coordinar el financiamiento de este proyecto y por gestionar mi asistencia al congreso de AIDIS, el cual me permitió ampliar mi visión y profundizar los conocimientos aplicados en esta memoria.

Finalmente, agradezco a la universidad por brindarme tantos espacios para desenvolverme y crecer en diversos ámbitos de mi vida, por permitirme formar redes y amistades, y por darme la oportunidad de aprender lo que me apasiona.

Resumen

La presente memoria para optar al título de Ingeniera Civil Ambiental, titulada "Propuesta para la Mejora de la Calidad del Agua a través de un Sistema de Filtración Sostenible en la Escuela Básica Las Palmas en la comuna de Llay Llay" tiene como objetivo contribuir a la mejora de la calidad del agua en la Escuela Las Palmas de Llay Llay a través de un sistema sostenible de filtración de agua. Para lograrlo, se definieron cuatro objetivos específicos: (1) Diagnosticar las necesidades y afectaciones relacionadas con el acceso y la calidad del agua en la escuela. (2) Determinar el sistema de filtración más adecuado a partir de los criterios técnicos de la escuela y las necesidades detectadas. (3) Implementar el sistema de filtración asegurando su sostenibilidad. (4) Monitorear la eficiencia del sistema implementado y su impacto en la calidad del agua.

La metodología se estructuró en cuatro fases: diagnóstico inicial, análisis técnico y selección del sistema, implementación del sistema y finalmente, monitoreo y evaluación. Durante el diagnóstico, se identificó como principal problemática la percepción negativa de la calidad del agua. En la fase de análisis técnico, se consideraron diversos factores para comparar los filtros disponibles en el mercado, concluyendo que un sistema de filtración de tres etapas con carbón activado granular (GAC) era el más adecuado para satisfacer las necesidades de la escuela. La implementación incluyó capacitaciones, talleres y otras actividades con enfoque en educación ambiental. El monitoreo, basado en encuestas y análisis de muestras, reveló una mejora en la percepción de la calidad del agua y una reducción del cloro libre mayor al 90% a las dos semanas desde el primer recambio de filtros, evidenciando mejoras organolépticas.

Se concluye que el filtro seleccionado es el más adecuado, ya que fue escogido en base a un análisis integral, además, el sistema mejoró la percepción de la calidad del agua y los parámetros analizados. El sistema mostró un funcionamiento estable y las encuestas reflejaron un aumento en la confianza, seguridad y satisfacción con el sistema. La metodología propuesta es replicable y adaptable a otros contextos educativos.

Palabras clave*: calidad del agua, sostenibilidad, carbón activado granular (GAC), comunidad escolar, agua potable, educación ambiental, sistema de Agua Potable Rural (APR).*

Abstract

The present thesis to qualify for the title of Environmental Civil Engineer, entitled "Proposal for the Improvement of Water Quality through a Sustainable Filtration System in the Las Palmas Basic School in the Llay Llay commune" aims to contribute to the improvement of water quality in the Las Palmas School of Llay Llay through a sustainable water filtration system. To achieve this, four specific objectives were defined: (1) Diagnose the needs and affectations related to access and water quality in the school. (2) Determine the most appropriate filtration system based on the technical criteria of the school and the needs detected. (3) Implement the filtration system ensuring its sustainability. (4) Monitor the efficiency of the implemented system and its impact on water quality.

The methodology was structured in four phases: initial diagnosis, technical analysis and system selection, system implementation, and finally, monitoring and evaluation. During the diagnosis, the negative perception of water quality was identified as the main problem. In the technical analysis phase, various factors were considered to compare the filters available in the market, concluding that a three-stage filtration system with granular activated carbon (GAC) was the most suitable to meet the needs of the school. The implementation included training sessions, workshops and other activities with a focus on environmental education. The monitoring, based on surveys and sample analysis, revealed an improvement in the perception of water quality and a reduction of free chlorine greater than 90% two weeks after the first filter replacement, evidencing organoleptic improvements.

It is concluded that the selected filter is the most suitable, as it was chosen based on a comprehensive analysis, in addition, the system improved the perception of water quality and the parameters analyzed. The system showed stable operation and the surveys reflected an increase in confidence, safety and satisfaction with the system. The proposed methodology is replicable and adaptable to other educational contexts.

Keywords*: water quality, sustainability, granular activated carbon (GAC), school community, drinking water, environmental education, Rural Potable Water System (APR).*

Glosario

Siglas

APR: Sistema de Agua Potable Rural

CTS: Competencias Transversales Sello de la Universidad Técnica Federico Santa María.

CORE: Consejo Regional.

DAEM: Departamento de Administración de Educación Municipal.

DOH: Dirección de Obras Hidráulicas.

GORE: Gobierno Regional.

IVE-SINAE: Índice de Vulnerabilidad Escolar.

JECD: Jornada Escolar Completa Diurna

GAC: Carbón Activado Granular

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

MMA: Ministerio de Medio Ambiente.

MINEDUC: Ministerio de Educación de Chile.

MON: Materia orgánica natural.

NMP: Número Más Probable.

PNEDS: Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable.

PET: Tereftalato de polietileno.

pH: Potencial de Hidrógeno.

TDS: Sólidos totales disueltos.

SEREMI: Secretaría Regional Ministerial.

SNCAE: Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Términos

Características organolépticas del agua: Propiedades que pueden ser percibidas por los sentidos humanos, es decir, por la vista, el olfato, el gusto y el tacto [1].

Carbón mineral: Material fósil derivado de la descomposición de materia orgánica presente en la corteza terrestre, cubierta por sedimentos que, con el paso del tiempo, incrementan las

condiciones de presión y temperatura produciendo un progresivo enriquecimiento en carbono [2].

Carbón vegetal: Material carbonoso obtenido mediante pirólisis (calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno) de biomasa como madera, cáscara de coco, bagazo o huesos de frutas [3].

Carbonización: Proceso termoquímico donde se calienta el material biomásico en ausencia total de oxígeno u otros agentes oxidantes para producir carbón vegetal [3].

Hulla bituminosa: Carbón mineral que contiene entre un 80 y 90 % de carbono. También contiene entre 3 y 20% de oxígeno, y entre 1 y 5% de hidrógeno [2].

Carbón de lignito: Carbón mineral de calidad media (entre un 60 y 75% de carbono) [2].

Conductividad Eléctrica: Medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica [4].

Localidades rurales concentradas: Localidad con un mínimo de 150 habitantes y una concentración de al menos 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable [5].

Localidades rurales semiconcentradas: Localidad con un mínimo de 80 habitantes y una concentración que tiene entre 8 y 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable [5].

Localidades rurales no concentradas: Localidad con menos de 80 habitantes o una concentración menor a 8 viviendas por kilómetro de red de agua potable [5].

Turba: Carbón mineral más reciente (entre un 45 y 60% de carbono), y constituye un primer paso en la carbonización natural [2].

EX UMBRA IN SOLEM

Índice de Contenidos

1. Introducción 12
2. Fundamentación 13
   2.1. Problemática 13
   2.2. Aportes del proyecto 18
3. Objetivos 19
   3.1. Objetivo general 19
   3.2. Objetivos específicos 19
4. Alcances y limitaciones 19
   4.1. Alcances 19
   4.2. Limitaciones 20
5. Marco Teórico 21
   5.1. Programa de Agua Potable Rural (APR) 21
   5.2. Ley 20.998 23
   5.3. NCh 409/1 24
      5.3.1. Parámetros Microbiológicos y Turbiedad (Tipo I) 24
      5.3.2. Elementos o Sustancias Químicas de Importancia para la Salud (Tipo II) 24
      5.3.3. Elementos Radiactivos (Tipo III) 25
      5.3.4. Parámetros Organolépticos (Tipo IV) 25
      5.3.5. Parámetros de Desinfección (Tipo V) 26
   5.4. Sostenibilidad 26
      5.4.1. Apropiación Técnica 26
      5.4.2. Viabilidad Económica 26
      5.4.3. Funcionalidad Continua a lo Largo de la Vida Útil del Diseño 26
      5.4.4. Aceptabilidad Social para la Comunidad 26
      5.4.5. Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales 27
   5.5. Educación Ambiental 27
      5.5.1. Objetivos de la Educación Ambiental 27
      5.5.2. Principios de la Educación Ambiental 28
      5.5.3. Normativa sobre Educación Ambiental en Chile 29
      5.5.4. Estrategias para implementar la Educación Ambiental 30
   5.6. Escasez Hídrica 31
   5.7. Carbón activado granular como método de filtración 32

PEX UMBRA SOLEM

5.7.1. Propiedades y estructura del carbón activado....33
5.7.2. Obtención del carbón activado....35
5.7.3. Adsorción....39
5.7.4. Saturación....42
5.7.5. Aplicaciones....43
5.8. Fuentes primarias de información: encuestas y entrevistas....45
5.8.1. Encuestas....45
5.8.2. Entrevistas....46
6. Presentación del establecimiento educacional....47
6.1. Sellos pedagógicos....49
6.2. Misión y visión....49
6.3. Abastecimiento y gestión del agua....49
7. Metodología....50
7.1. Diseño Metodológico....50
7.2. Fases Metodológicas....50
7.2.1. Fase 1: Diagnóstico inicial....50
7.2.2. Fase 2: Análisis técnico y selección del sistema de filtración....51
7.2.3. Fase 3: Implementación del sistema....53
7.2.4. Fase 4: Monitoreo y evaluación....55
7.3. Instrumentos utilizados....57
8. Resultados....58
8.1. Diagnóstico inicial....58
8.1.1. Resultados entrevista grupal....58
8.1.2. Resultados taller participativo....59
8.1.3. Resultados encuesta levantamiento técnico....60
8.1.4. Resultados encuesta de percepción....60
8.1.5. Síntesis del diagnóstico inicial....61
8.2. Análisis técnico y selección del sistema de filtración....62
8.2.1. Resultados ensayo microbiológico....62
8.2.2. Resultados provenientes de la visita al APR de Las Palmas....62
8.2.3. Estimación del consumo de agua....63
8.2.4. Infraestructura y determinación de riesgos....66
8.2.5. Filtro seleccionado....67
8.3. Implementación del sistema....70

8.3.1. Lista de requerimientos 70
8.3.2. Instalación del equipo 73
8.3.3. Capacitaciones, talleres, charlas y recursos adicionales 74
8.4. Monitoreo y evaluación 78
8.4.1. Resultados de encuestas aplicadas 78
8.4.2. Resultados de los análisis de muestras de agua 82
Conclusiones y recomendaciones 87
Anexos 94

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución Población Rural vs Urbana. Fuente: Elaboración propia según datos obtenidos del Censo 2017. 14
Figura 2. Distribución población rural con acceso formal e informal de agua por Región. Fuente: Elaboración propia según datos obtenidos del Censo 2017. 15
Figura 3. Evolución de la población rural atendida por el programa APR. Fuente: Fundación Amulén (2019). 16
Figura 4. Cobertura de agua potable en la población rural. Fuente: Fundación Amulén (2019). 16
Figura 5. Promedio por región y a nivel general sobre la percepción de la calidad del suministro de agua. Fuente: Fundación Amulén (2021). 17
Figura 6. Sistema Típico de Agua Potable Rural (APR). Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas (2016) 23
Figura 7. Principales grupos funcionales presentes en la superficie de un carbón activado. Fuente: Álvarez et al. (2014). 34
Figura 8. Estructura del grafito hexagonal. Fuente: Álvarez et al. (2014). 34
Figura 9. Representación esquemática típica de la microestructura del carbón activado. Fuente: Álvarez et al. (2014). 35
Figura 10. Producción del carbón activado. Elaboración propia. 36
Figura 11. Métodos de activación para la producción de carbones activados. Elaboración propia. 36
Figura 12. Proceso de adsorción. Fuente: Jiménez & González (2014). 39

Figura 13. Isotermas de adsorción. Fuente: Omenat (2016).....41
Figura 14. Zonas en un lecho de GAC. Fuente: Pérez (2004).....43
Figura 15. Columna para eliminación de materia orgánica recalcitrante. Fuente: Guerrero (s.f).....44
Figura 16. Ubicación de la Escuela Básica Las Palmas. Fuente: Google Maps.....47
Figura 17. Compendio de Registro Fotográfico Escuela Las Palmas. Fuente: Proyecto FSM 2395.....48
Figura 18. Metodología. Elaboración propia.....56
Figura 19. Torres de almacenamiento del APR Las Palmas.....62
Figura 20. Bebederos.....66
Figura 21. Diagrama de la carcasa instalada. Fuente: Water Concept (s.f).....69
Figura 22. Carcasa, filtro GAC y llave de apertura. Fuente: Elaboración propia a partir de OsmoSystems.....69
Figura 23. Diagrama del sistema de filtración de agua. Elaboración propia.....74
Figura 24. Sistema de filtración de agua instalado en la escuela.....74
Figura 25. Resultados encuesta n.°1: dirigida a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, director y estudiantes de séptimo y octavo básico.....80
Figura 26. Resultados encuesta n.°2 dirigida a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, director y estudiantes de séptimo y octavo básico.....81
Figura 27. Resultados encuesta n.°3: Dirigida a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, director y estudiantes de séptimo y octavo básico.....81
Figura 28. Balance de masa para el cloro libre a los 15 días del recambio. Elaboración propia.....84

Índice de Tablas

Tabla 1. Elementos esenciales Tipo II. Fuente: NCh 409/1.....25
Tabla 2. Límites máximos para elementos radiactivos en el agua potable. Fuente: NCh 409/1.....25
Tabla 3. Parámetros relativos a características organolépticas. Fuente: NCh 409/1.....25

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los métodos de activación. Elaboración propia a partir de Álvarez et al. (2014). 38
Tabla 5. Características de materias primas y sus propiedades en la producción de carbón activado. Elaboración propia a partir de Acevedo (2018). 39
Tabla 6. Instrumentos utilizados. Elaboración propia. 57
Tabla 7. Estimación del consumo diario y mensual de agua en la escuela. Elaboración propia. 65
Tabla 8. Materiales requeridos. Elaboración propia. 71
Tabla 9. Costos de inversión inicial. Elaboración propia. 72
Tabla 10. Costo anual de operación. Elaboración propia. 72
Tabla 11. Costo anual de operación considerando un 4% de inflación. Elaboración propia. ... 72
Tabla 12. Efecto del filtro (GAC) sobre los parámetros analizados. Elaboración propia. 83
Tabla 13. Datos de remoción del cloro libre. Elaboración propia. 85

EX UMBRA IN SOLEM

1. Introducción

Chile actualmente enfrenta una crisis hídrica que afecta principalmente a las zonas rurales. Se estima que la población rural de Chile es cercana a los 2,2 millones de personas [6], de esta cifra, el 47,2% no cuenta con acceso regular a agua potable [7]. Además, a nivel nacional en 2021 el 53% de las comunas del país fueron declaradas zonas de escasez hídrica [8] y en la región de Valparaíso la situación es aún más crítica, con casi el 97% de sus comunas bajo decreto de escasez hídrica debido a la prolongada sequía [9]. Esta falta de acceso al agua impacta directamente a la educación, ya que cerca del 40,4% de las escuelas rurales no tiene abastecimiento formal de agua potable, viéndose obligadas a cancelar clases debido a la mala calidad o falta de este recurso [7].

En respuesta a esta problemática, el Proyecto FSM 2395: "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 mitigar la crisis hídrica en comunidades educativas rurales de la región de Valparaíso mediante soluciones prácticas y tecnológicas a través de la participación de estudiantes y docentes de la Universidad Técnica Federico Santa María que colaboran con las escuelas participantes, donde se identifican las necesidades de cada comunidad escolar y se diseñan soluciones adaptadas a cada una.

El objetivo principal del proyecto FSM 2395 es fortalecer la capacidad de gestión y control de calidad del agua reciclada por las comunidades rurales, mediante el uso de herramientas de innovación y tecnología co-creadas con los estudiantes implementando las Competencias Transversales Sello (CTS), con el fin de abordar de manera efectiva la problemática de la escasez hídrica en dichas comunidades, esto se realiza a través un diagnóstico participativo en conjunto con las comunidades y sus escuelas, integrando la perspectiva de género y fomentando la colaboración entre los actores locales y los estudiantes. Además, se desarrollan herramientas que aprovechan el conocimiento local y académico, generando soluciones sostenibles que mejoran la gestión del agua y promueven la autosuficiencia de las comunidades [10]. En el desarrollo del Proyecto FSM 2395, se han seleccionado seis escuelas rurales de la región de Valparaíso, en base a ciertos criterios como el índice de vulnerabilidad socioeconómica, matrícula mínima de estudiantes, ser un establecimiento categorizado como rural, sello

medioambiental y diversidad de comunas. Una de las escuelas seleccionadas es la Escuela Básica Las Palmas, ubicada en la comuna de Llay Llay, escuela que cuenta con 124 alumnos desde prekínder hasta octavo básico, junto con un equipo educativo compuesto por 15 profesores y 11 asistentes de la educación.

Para diagnosticar las necesidades de las escuelas participantes, se realizó un levantamiento de información a través de distintos instrumentos y actividades como encuestas, entrevistas y talleres, involucrando a actores clave de la comunidad escolar. En la Escuela Básica Las Palmas, el diagnóstico indicó que una de las principales necesidades es la mejora de la calidad del agua. Por esta razón, esta memoria se enfoca en contribuir a la mejora de la calidad del agua en la Escuela Las Palmas de Llay Llay a través del desarrollo de un sistema de filtración de agua sostenible que atienda las necesidades de la escuela, teniendo en cuenta factores como la calidad inicial del agua, el consumo estimado de agua, la infraestructura disponible y su vida útil. Además, que pueda servir como un caso de estudio o modelo replicable para otras escuelas rurales que enfrenten desafíos similares.

2. Fundamentación

2.1. Problemática

La Región de Valparaíso enfrenta una crisis hídrica, donde 37 de sus 38 comunas de se encuentran bajo decreto de escasez hídrica [9]. Esta situación afecta de manera particular a las comunidades rurales, debido a que, en Chile, el 47,2% de la población rural no cuenta con un suministro formal de agua potable en sus hogares. Es importante considerar que las fuentes de abastecimiento de agua se dividen en dos categorías: formales e informales. Las formales incluyen el suministro a través de la red de agua potable o de servicios como los APR en áreas rurales. Por otro lado, las fuentes informales abarcan pozos, norias, camiones aljibe y captaciones de ríos, vertientes y esteros, entre otros [11].

En el caso de la Escuela Básica Las Palmas, ubicada en el sector Las Palmas de la comuna de Llay Llay, el sistema de Agua Potable Rural (APR) local proporciona agua a la comunidad escolar. La escuela, al estar más cerca del punto de distribución que el resto de las viviendas, no enfrenta problemas de presión o disponibilidad, mitigando en parte los efectos de la crisis hídrica. Sin embargo, al igual que muchas otras comunas de la Región de Valparaíso, Llay Llay

ha experimentado una sequía prolongada durante los últimos años, enfrentando una reducción significativa en sus fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, lo que ha llevado a restricciones en el suministro de agua [8]. Esto ha resultado en restricciones de suministro en el sector Las Palmas, donde reside la mayoría de los alumnos de la escuela, la comunidad local indica que los pozos se han secado, y que en los últimos años han enfrentado crecientes dificultades en la disponibilidad de agua potable.

Para analizar la situación en la Región de Valparaíso, las Figuras 1 y 2 muestran la comparación entre la población rural y urbana por región y la población rural con acceso formal e informal al agua, respectivamente. En la Región de Valparaíso, se observa que la población rural representa el 9% del total, mientras que el 66% de esta población rural accede al agua de forma formal y el 34% de forma informal. Dentro de esas fuentes de abastecimiento informales, se dividen en 20% por camión aljibe, 70% por pozo o noria y 10% por río, vertiente o estero [11].

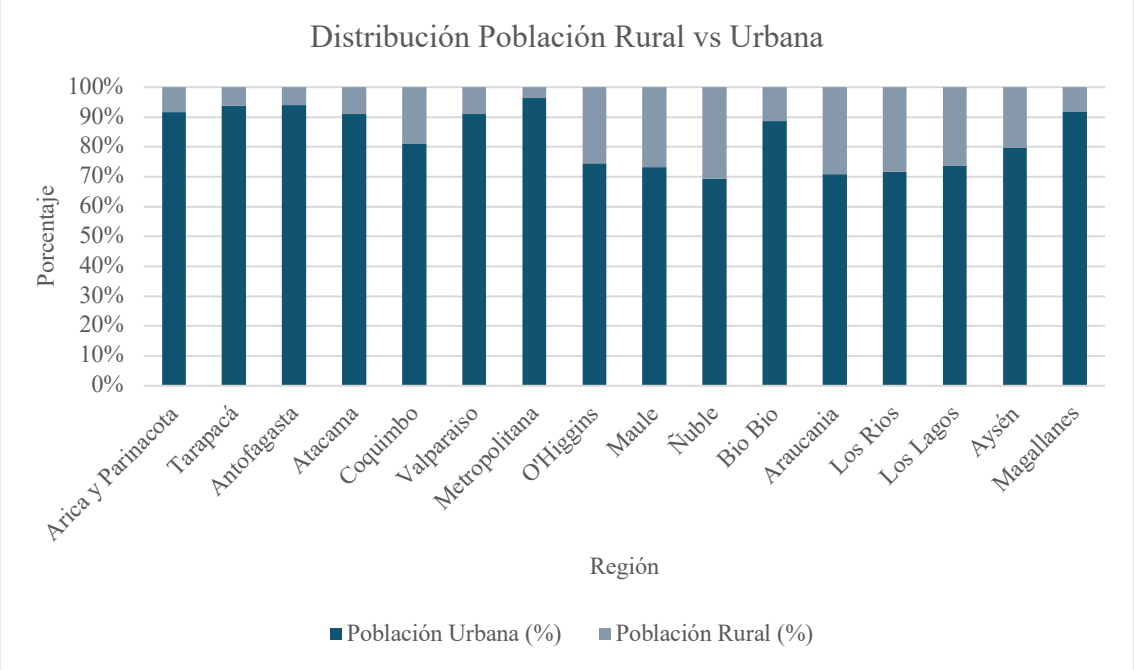


Figura 1. Distribución Población Rural vs Urbana. Fuente: Elaboración propia según datos obtenidos del Censo 2017.

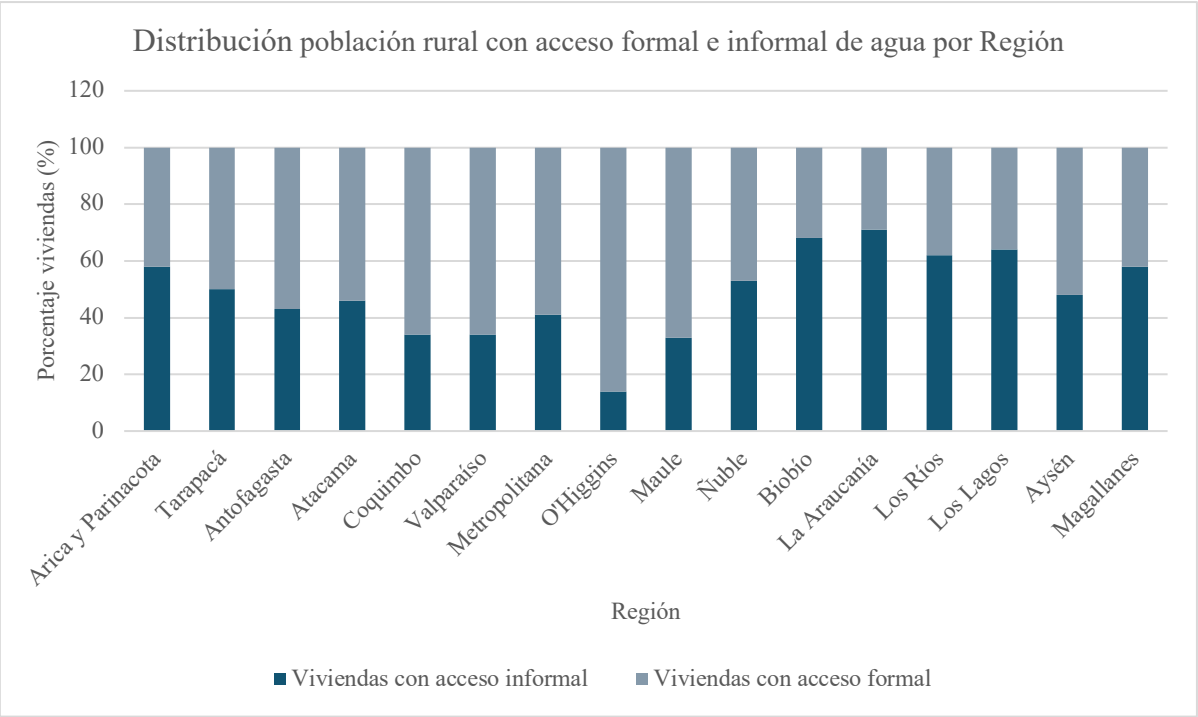


Figura 2. Distribución población rural con acceso formal e informal de agua por Región. Fuente: Elaboración propia según datos obtenidos del Censo 2017.

Respecto al sistema APR, surge en la década de 1960 con el fin de resolver los problemas de abastecimiento de las localidades más aisladas del país. El programa APR provee un sistema de abastecimiento de agua de carácter colectivo, enfocado en desarrollar, mejorar, ampliar y conservar la infraestructura de provisión de agua potable en áreas rurales. Inicialmente, su objetivo principal era dotar de agua potable a la población rural concentrada, objetivo que se alcanzó casi en su totalidad en 2010. A partir de ese año, el programa amplió su alcance para incluir a la población semi-concentrada, aunque ya se había comenzado a trabajar con estas comunidades algunos años antes. Desde 2001, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) asumió las funciones del Programa APR [12]. La cobertura del APR en la población rural creció significativamente, pasando del 6% en 1960 al 53% en 2018, beneficiando a 1.787.916 personas [11]. Las Figuras 3 y 4 muestran la evolución de la población rural atendida por el programa APR y la cobertura de agua potable en la población rural, respectivamente. En la Región de Valparaíso, la cobertura de agua potable en la población rural alcanza un 65,6%.

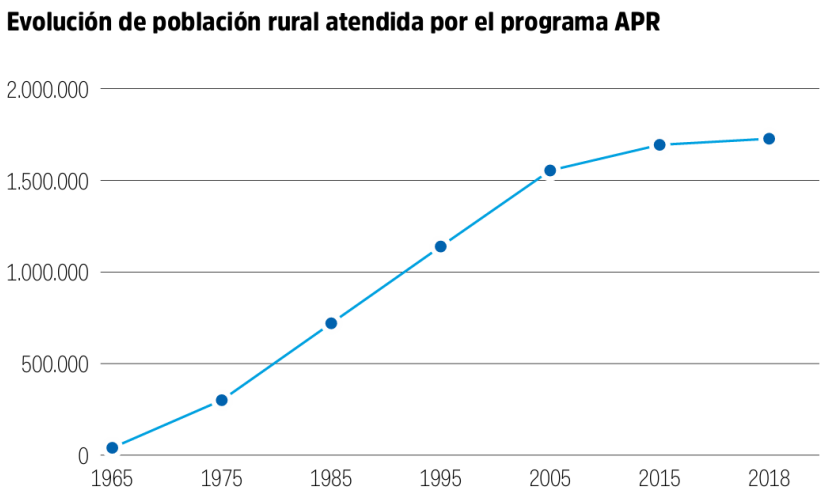


Figura 3. Evolución de la población rural atendida por el programa APR. Fuente: Fundación Amulén (2019).

Región	APR (N°)	Edad promedio APR (años)	Población rural con agua potable (N°)	Densidad poblacional (hab/km²)	Cobertura agua potable población rural (%)
Arica-Parinacota	27	18,1	16.348	14,17	42,0
Tarapacá	22	15,2	15.176	7,94	50,3
Antofagasta	15	16,3	12.592	4,94	57,1
Atacama	40	20,7	17.140	4,16	53,9
Coquimbo	192	26,0	158.192	19	65,7
Valparaíso	165	27,0	212.984	111,35	65,6
Metropolitana	109	26,5	185.904	474,9	58,8
O'Higgins	220	28,2	277.156	56,07	86,2
Maule	288	25,1	280.192	34,4	67,3
Ñuble	127	21,2	68.505	33,5	46,6
Biobío	88	22,2	57.620	64,38	32,4
La Araucanía	226	19,0	161.616	31,08	28,8
Los Ríos	117	13,8	84.252	17,31	38,1
Los Lagos	186	13,8	127.812	21,94	36,2
Aysen	42	20,7	24.140	0,99	51,7
Magallanes	11	16,4	3.292	1,24	41,6
Total	**1.875**	**20,6**	**1.787.916**		**52,8**

Figura 4. Cobertura de agua potable en la población rural. Fuente: Fundación Amulén (2019).

La calidad del agua en los sistemas de APR en Chile se regula bajo la Norma Chilena NCh409/1, que exige controles periódicos para garantizar la potabilidad. Sin embargo, en la práctica, los sistemas APR suelen realizar muestreos de agua una vez al mes, lo que impide la detección temprana de fluctuaciones en parámetros críticos como pH, turbidez y niveles de cloro [13]. Estudios que han monitoreado estos sistemas han revelado incumplimientos en los parámetros establecidos por la normativa, evidenciando problemas como el exceso de cloro libre residual [5]. Además, hay estudios que indican que, en particular, los sistemas de APR no logran garantizar los estándares de calidad y cantidad de agua debido a una gestión técnica y administrativa, mantenimiento y financiamiento limitados [14].

En el informe "Educar sin agua" de la Fundación Amulén, se realizaron encuestas a directores de escuelas rurales para evaluar la percepción de la calidad del agua en sus establecimientos (ver Figura 5). Los resultados del informe muestran que, en la Región de Valparaíso, la percepción de la calidad del agua en fuentes formales (APR) tiene un promedio que no alcanza la categoría de "bueno", con una nota de 2.8, la cual corresponde a “regular” en una escala de 1 a 4 y es la misma nota que reciben las fuentes informales en la región [7].

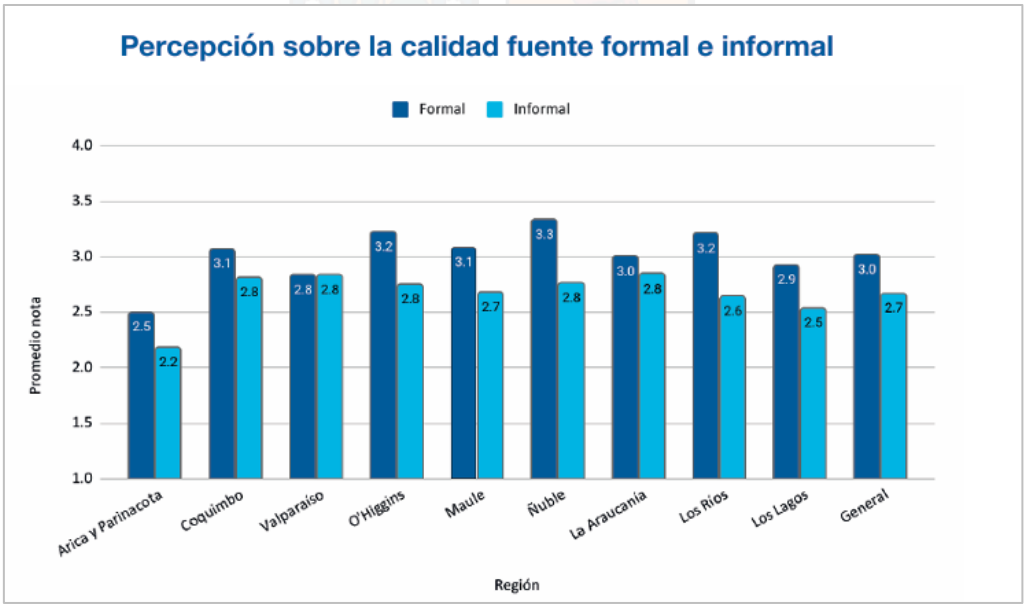


Figura 5. Promedio por región y a nivel general sobre la percepción de la calidad del suministro de agua. Fuente: Fundación Amulén (2021).

Esto evidencia una disconformidad generalizada respecto a la calidad del agua que reciben, similar a lo que se ha observado en la Escuela Las Palmas, donde los resultados de las encuestas realizadas reflejan insatisfacción con ciertos parámetros físicos del agua potable, como su sabor

y olor, lo cual impacta negativamente en la confianza y percepción general de la calidad del agua por parte de la comunidad escolar. Además, los profesores y asistentes de educación señalaron que, debido a esta desconfianza, ellos optan por traer agua filtrada de sus hogares, mientras que la mayoría de los estudiantes de la escuela continúan consumiendo agua directamente de la llave.

2.2. Aportes del proyecto

En respuesta a la problemática descrita, la presente memoria contribuye directamente en la mejora de la calidad del agua y la percepción de la calidad del agua que tiene la comunidad escolar en la escuela Básica Las Palmas, beneficiando a cerca de 150 personas, que incluyen 124 alumnos, 15 profesores y 11 asistentes de la educación. También ayuda a mejorar los parámetros físicos como el sabor y olor mediante la implementación de un sistema de filtración sostenible basado en tecnología de carbón activado.

Además, por el enfoque sostenible del sistema, se realizaron capacitaciones, actividades y talleres dirigidos a todos los actores clave de la escuela, promoviendo la educación ambiental. Estas actividades incluyen formación sobre el mantenimiento y operación del sistema de filtración, y la responsabilidad y cuidado tanto del agua como de la infraestructura implementada. Esto contribuye a que los alumnos y otros miembros de la escuela desarrollen habilidades prácticas y adquieran conocimientos que les brinden la capacidad de adoptar prácticas más informadas, responsables y sostenibles.

Es importante destacar que, de los 16,398 establecimientos educacionales en Chile, 4,951 se encuentran en comunidades rurales y, de estos, 3,509 están operativos. Además, del total de escuelas rurales de Chile, el 59,6% se abastece a través de sistemas APR [7]. Por lo tanto, esta memoria no solo busca generar un impacto a nivel local, sino que también ser un caso de estudio para poder replicar en otras escuelas con necesidades similares en el país, donde se utilicen los resultados obtenidos como referencia para la implementación de sistemas similares.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Contribuir a la mejora de la calidad del agua en la Escuela Las Palmas de Llay Llay a través de un sistema sostenible de filtración de agua.

3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar las necesidades y afectaciones relacionadas con el acceso y calidad del agua en la escuela a partir de los datos obtenidos en el levantamiento de información.
- Determinar el sistema de filtración más adecuado a partir de los criterios técnicos de la escuela y las necesidades detectadas.
- Implementar el sistema de filtración de agua en la escuela asegurando que sea sostenible.
- Monitorear la eficiencia del sistema de filtración implementado y su impacto en la calidad del agua.

4. Alcances y limitaciones

4.1. Alcances

La presente memoria incluye la determinación de la tecnología de filtración más adecuada a partir de criterios técnicos específicos de la Escuela Básica Las Palmas y de las necesidades detectadas durante la fase de diagnóstico. El proyecto abarca la implementación de un sistema de filtración sostenible, diseñado para que funcione de manera eficiente por un período de tres años sin costos adicionales para la escuela.

Adicionalmente, se llevarán a cabo capacitaciones, talleres y actividades dirigidas a estudiantes, profesores, asistentes de la educación y encargados de la mantención del sistema de filtración, con el propósito de preparar a la comunidad escolar para mantener el sistema de forma indefinida. Estas formaciones permitirán que la escuela adquiera la capacidad de comprar los recambios necesarios y, en caso de una avería, poder repararlo, además, el enfoque de educación ambiental busca que toda la comunidad escolar incremente la conciencia sobre la importancia y utilidad del filtro, todo esto asegura la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

El proyecto también incluye el monitoreo de la eficiencia del sistema de filtración implementado y la evaluación de su impacto en la calidad del agua mediante un enfoque integral. Para ello, se llevan a cabo análisis cualitativos y cuantitativos, incluyendo la toma de muestras de agua para medir parámetros como el cloro libre y el pH, así como encuestas dirigidas a la comunidad escolar, con el objetivo de evaluar la satisfacción con respecto al sistema implementado y la percepción de la calidad del agua.

4.2. Limitaciones

Una de las limitaciones es que el monitoreo del sistema de filtración implementado es a corto plazo, ya que se llevará a cabo en un periodo de seis meses. A partir de los resultados obtenidos durante este tiempo, se realizarán estimaciones para proyectar el funcionamiento óptimo del filtro a largo plazo. Sin embargo, este periodo de evaluación no permite observar completamente la durabilidad del sistema.

Debido a que el sistema se implementa en la Escuela Básica Las Palmas de Llay Llay, los resultados obtenidos pueden ser replicables solo en escuelas con necesidades similares, es decir, aquellas que ya cuenten con acceso a agua potable, pero presenten una mala percepción de su calidad. Esta tecnología de filtración no aborda problemas relacionados con contaminación por agentes biológicos, por lo que no sería aplicable a fuentes de agua con este tipo de contaminantes.

El éxito de la sostenibilidad del sistema depende de la participación y el compromiso de los actores clave de la escuela en las capacitaciones, talleres y actividades, por lo que las variaciones a nivel de participación pueden afectar los resultados previstos. Además, está condicionado al cuidado adecuado del filtro y al compromiso de la comunidad escolar a largo plazo.

Además, el consumo de agua para beber se estimó a partir de valores reportados en la literatura en base al consumo total de agua en la escuela y la cantidad de personas, por lo que las cifras utilizadas representan aproximaciones que podrían diferir del uso real diario dentro del establecimiento.

Por último, la vida útil del filtro de carbón activado se basa en la capacidad de purificación indicada por el fabricante, ya que no se efectuaron ensayos de laboratorio para determinar la capacidad de adsorción específica del carbón utilizado.

5. Marco Teórico

5.1. Programa de Agua Potable Rural (APR)

El Programa de Agua Potable Rural fue creado en 1964 como una respuesta a la grave problemática de acceso al agua potable en las zonas rurales del país. En esa época, solo un 6% de la población rural tenía acceso a un sistema de abastecimiento de agua potable, lo que generaba altos índices de morbilidad y mortalidad, especialmente infantil, debido al consumo de agua no tratada [15]. La implementación del APR estuvo influenciada por acuerdos internacionales como la Resolución de la XII Asamblea Mundial de la Salud en 1959 y la Carta de Punta del Este en 1961, que priorizaban el abastecimiento público de agua potable como una meta esencial para el desarrollo sanitario y social [16].

El programa APR comenzó afectando principalmente a las localidades rurales concentradas, que se definían como aquellas con al menos 15 viviendas por kilómetro de red y más de 150 habitantes [16]. A partir de 2010, se amplió para beneficiar a las localidades semiconcentradas, con parámetros menores (entre 8 y 15 viviendas por kilómetro y más de 80 habitantes), logrando un 41% de cobertura en estas áreas. La cobertura del APR en la población rural aumentó desde un 6% en 1964 a un 53% en 2018, beneficiando a 1.787.916 personas [11]. A fines de 2024, el programa estaba beneficiando a 2.272.395 personas en todo el país, distribuidas en 2.422 sistemas operativos que abarcan desde el extremo norte hasta el sur austral de Chile [17].

En los inicios del Programa de APR, el organismo ejecutor fue el Servicio Nacional de Salud del Ministerio de Salud, creándose la Oficina de Saneamiento Rural, este organismo opera hasta 1990 hasta que se crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) que gestiona el subsector agua potable y alcantarillado. Y las funciones y atribuciones del programa APR se le asignan a la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Luego, en 2001 la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del MOP asume todas las funciones del Programa APR debido a la importancia del componente de infraestructura de estos servicios. Además de la DOH del MOP, los Gobiernos Regionales (GORE) también tienen participación a través de los respectivos Consejos Regionales (CORE). Estos últimos pueden aprobar o rechazar las propuestas de priorización de la cartera de proyectos presentadas por el Programa APR para su financiamiento en la región. [12]. La administración del APR está a cargo de los

comités y cooperativas de agua potable rural, que son responsables de operar, mantener y administrar los sistemas de agua potable en sus respectivas localidades. [18].

Respecto a la normativa que regula al programa APR, se encuentra la Ley 20.998 promulgada en 2017 y vigente desde 2020, que establece el marco regulatorio para los servicios sanitarios rurales, incluyendo el APR, regula aspectos como la operación, administración y licencia de los servicios, fortalece la participación de las comunidades y del Estado, y asegura la sostenibilidad y calidad del servicio [19]. El decreto 50 DFL de la Ley 20.998 detalla los requisitos para la obtención y mantenimiento de licencias, la continuidad del servicio y la gestión tarifaria [20] y la Norma Chilena NCh 409/1 establece los estándares de calidad del agua potable para garantizar su salubridad y seguridad. [19].

El financiamiento del APR proviene principalmente del Estado, a través del presupuesto nacional asignado por la Ley de Presupuestos. Las inversiones en infraestructura y mantenimiento son financiadas con recursos públicos, mientras que los comités y cooperativas gestionan los costos operativos a través de tarifas pagadas por los usuarios. [18].

En la Figura 6 se presenta un sistema típico de APR [21] que incluye un sondaje (1) que extrae el agua subterránea, seguido del empalme eléctrico (2) que permite el suministro de energía al sistema. El tablero eléctrico (3) controla el funcionamiento del sistema, mientras que la caseta de tratamiento (4) alberga los equipos necesarios para potabilizar el agua. Luego, el agua es impulsada (5) pasando por un filtro (6) y se almacena en un estanque de regulación (7) que regula el flujo de agua tratada y mantiene el estable la presión en la red de distribución, desde ahí el agua se distribuye a las viviendas a través de una red de distribución (8), hasta llegar finalmente a los arranques domiciliarios (9). Existen sistemas de APR para fuentes subterráneas y superficiales, siendo las primeras las más comunes. Además, los estantes de regulación pueden ser de hormigón armado o acero, y pueden estar elevados o semienterrados [21].

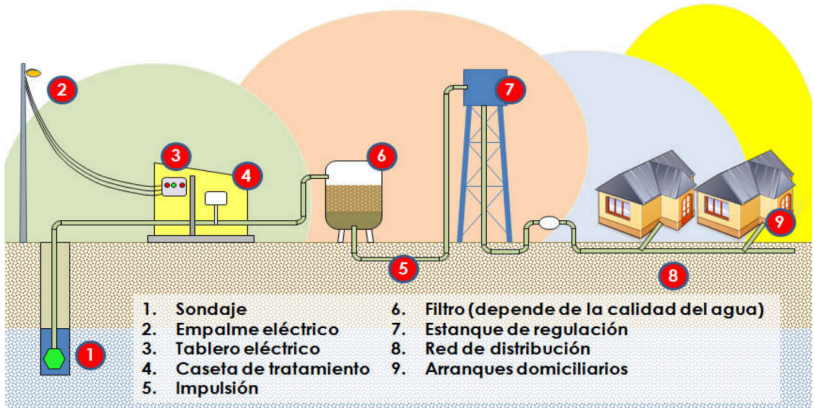


Figura 6. Sistema Típico de Agua Potable Rural (APR). Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas (2016).

5.2. Ley 20.998

Esta ley fue promulgada en 2017 y está vigente desde 2020, establece el marco regulatorio para los servicios sanitarios rurales en Chile, incluyendo el Programa de APR. La ley crea un marco legal e institucional para los servicios sanitarios rurales, aplicable a todas las organizaciones y personas existentes a la entrada en vigencia de la Ley que presten un servicio de agua potable rural, que sean sin fines de lucro, y que hayan recibido aportes del Estado [22]. Además, reconoce a los comités y cooperativas, como administradores y operadores de los servicios sanitarios rurales. [23].

También establece que el MOP otorga licencias para operar servicios sanitarios rurales, y mantiene un Registro Público de Operadores. Las licencias son de carácter indefinido, pero se evalúan cada cinco años para asegurar el cumplimiento de requisitos como la calidad del agua y la continuidad del servicio [23].

La ley exige que los operadores cumplan con distintas obligaciones, como cumplir con las normas de calidad del agua establecidas, asegurar continuidad del servicio, permitir el acceso a las instalaciones a personal del MOP, SISS, y Salud para inspecciones y fiscalizaciones, también deben hacer un uso correcto de los fondos y bienes del servicio, conservar las instalaciones y equipos, además, para asegurar la sostenibilidad del servicio, deben cobrar las las tarifas determinadas por la SISS. La SISS tiene facultades para fiscalizar y aplicar sanciones, asegurando que los servicios cumplan con los estándares legales. [23].

5.3. NCh 409/1

La Norma Chilena NCh 409/1 establece los requisitos de calidad para el agua potable en todo el territorio nacional de Chile y se aplica a cualquier servicio de abastecimiento de agua potable. Esta norma es fundamental para garantizar que el agua destinada al consumo humano cumpla con estándares que aseguren su inocuidad y aptitud para el consumo [24].

La NCh 409/1 clasifica los parámetros de calidad del agua en cinco tipos [24]:

- Tipo I: Parámetros microbiológicos y de turbiedad.
- Tipo II: Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud.
- Tipo III: Elementos radiactivos.
- Tipo IV: Parámetros relativos a las características organolépticas (color, olor, sabor).
- Tipo V: Parámetros de desinfección.

A continuación, se presentan los límites más relevantes para cada tipo de parámetro establecido en la Norma Chilena NCh 409/1:

5.3.1. Parámetros Microbiológicos y Turbiedad (Tipo I)

- Escherichia coli: Todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable, deben estar exentas de Escherichia coli [24].
- Bacterias coliformes totales: Se acepta la presencia de coliformes totales en una concentración mayor o igual a 5 UFC o NMP por 100 ml en:
    - Una muestra, cuando se hayan analizado menos de 20 muestras en el mes [24].
    - No más de 5% de las muestras pueden contener bacterias coliformes totales si se analizan 20 o más muestras mensuales [24].

5.3.2. Elementos o Sustancias Químicas de Importancia para la Salud (Tipo II)

En la Tabla 1 se presentan los elementos esenciales que el agua potable no debe contener en concentraciones totales mayores que las indicadas [24].

Tabla 1. Elementos esenciales Tipo II. Fuente: NCh 409/1.

Elemento	Expresado como elementos totales	Límite máximo mg/L
Cobre	Cu	2,0
Cromo total	Cr	0,05
Fluoruro	F^-	1,5
Hierro	Fe	0,3
Manganeso	Mn	0,1
Magnesio	Mg	125,0
Selenio	Se	0,01
Zinc	Zn	3,0

5.3.3. Elementos Radiactivos (Tipo III)

El agua potable no debe contener sustancias radiactivas en concentraciones mayores que las indicadas en Tabla 2.

Tabla 2. Límites máximos para elementos radiactivos en el agua potable. Fuente: NCh 409/1.

Elemento	Límite máximo Bq/L
Estroncio 90	0,37
Radio 226	0,11
Actividad base total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	37
Actividad beta total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros radioemisores naturales)	1,9
Actividad alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	0,55

EX UMBRA SOLEM

5.3.4. Parámetros Organolépticos (Tipo IV)

El agua potable debe cumplir con los requisitos de la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros relativos a características organolépticas. Fuente: NCh 409/1.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo
Físicos:			
Color verdadero	-	Unidad Pt-Co	20
Olor	-	-	inodora
Sabor	-	-	insípida
Inorgánicos:			
Amoníaco	NH_3	mg/L	1,5
Cloruro	Cl^-	mg/L	400 [1)]
pH	-	-	6,5 < pH < 8,5
Sulfato	SO_4^{-2}	mg/L	500 [1)]
Sólidos disueltos totales	-	mg/L	1 500
Orgánicos:			
Compuestos fenólicos	Fenol	µg/L	2

1) La Autoridad Competente, de acuerdo con las instrucciones impartidas por el Ministerio de Salud, podrá autorizar valores superiores a los límites máximos señalados en esta tabla, conforme a la reglamentación sanitaria vigente.

5.3.5. Parámetros de Desinfección (Tipo V)

- La concentración residual máxima de cloro libre debe ser 2,0 mg/L en condiciones normales de operación en cualquier punto de la red. La Autoridad Competente puede exigir concentraciones superiores, en condiciones especiales para un servicio en particular [24].
- La concentración residual mínima de cloro libre debe ser de 0,2 mg/L en cualquier punto de la red [24].

5.4. Sostenibilidad

La sostenibilidad se define como la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades [25]. La sostenibilidad en proyectos depende de varios factores clave y específicamente en proyectos de agua potable y saneamiento en zonas rurales, la literatura indica que los elementos a considerar para que un proyecto sea sostenible son los siguientes:

5.4.1. Apropiación Técnica

La sostenibilidad técnica se basa en el mantenimiento adecuado de la infraestructura y la selección de tecnologías apropiadas para el contexto local. También se refiere a que la comunidad o los operadores locales sean capaces de comprender, mantener y mejorar la tecnología utilizada en el proyecto y de realizar ajustes y reparaciones sin necesidad de intervención externa [26] [27] [28].

5.4.2. Viabilidad Económica

Capacidad del proyecto para ser financieramente sostenible. Esto incluye la generación de ingresos suficientes para cubrir los costos operativos y de mantenimiento, y la capacidad de reinvertir en mejoras o expansión del sistema [26] [27] [28].

5.4.3. Funcionalidad Continua a lo Largo de la Vida Útil del Diseño

Asegurar que el sistema de agua y saneamiento funcione correctamente durante todo su ciclo de vida. Esto incluye el mantenimiento regular, la gestión de los recursos necesarios para su operación y la planificación para futuras mejoras o ampliaciones [26].

5.4.4. Aceptabilidad Social para la Comunidad

La participación comunitaria y el compromiso de la comunidad son esenciales para el éxito a largo plazo de un proyecto. Este aspecto implica que el proyecto sea aceptado y valorado por

la comunidad, también asegura que los usuarios participen activamente en el mantenimiento y gestión del sistema, y que se sientan beneficiados por el servicio [26] [27] [28].

5.4.5. Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales

Se refiere a la gestión sostenible del recurso hídrico, incluyendo la protección de los ecosistemas relacionados con el agua y la adaptación al cambio climático. Esto implica implementar prácticas que minimicen el impacto ambiental y promuevan la conservación de los recursos naturales [26] [27] [28].

Además, es importante superar ciertos obstáculos para asegurar la viabilidad a largo plazo del proyecto, estos pueden ser la falta de recursos financieros, que puede limitar la implementación y el mantenimiento de sistemas de filtración, la elección de una tecnología inapropiada para el contexto local o la falta de participación o aceptación por parte de la comunidad [28].

5.5. Educación Ambiental

La educación ambiental es un proceso de aprendizaje que incrementa el conocimiento y la conciencia de las personas sobre el medio ambiente y los desafíos asociados. Además, desarrolla habilidades y competencias necesarias para abordar dichos desafíos, fomenta actitudes responsables y motiva compromisos para tomar decisiones informadas y actuar de manera responsable en favor del medio ambiente [29].

5.5.1. Objetivos de la Educación Ambiental

La educación ambiental tiene varios objetivos fundamentales que buscan promover la conciencia y la acción responsable hacia el medio ambiente. Según la Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable en Chile, los objetivos de la educación ambiental incluyen:

- Generar conciencia: Sensibilizar a la población sobre los problemas ambientales y sus consecuencias en la calidad de vida [30].
- Aportar conocimiento: Proporcionar una comprensión básica del medio ambiente como sistema, de los problemas ambientales y de la interdependencia entre el ser humano y el entorno [30].
- Fomentar actitudes: A través de un conjunto de valores sociales y un profundo interés por el medio ambiente que los impulse a participar activamente en su protección y mejoramiento [30]

- Desarrollar aptitudes: Desarrollar habilidades para la resolución de los problemas ambientales [30]
- Capacidad de evaluación: Desarrollar competencias para evaluar las medidas y los programas de Educación Ambiental en función de los factores ecológicos, políticos, económicos, sociales, estéticos y educacionales [30].
- Participación: Desarrollar el sentido de responsabilidad y toma de conciencia de la urgente necesidad de prestar atención a los problemas del medio ambiente e involucrarse en su solución [30].

5.5.2. Principios de la Educación Ambiental

La Educación Ambiental se basa en una serie de principios, de acuerdo Currículum Nacional de Educación de Chile publicado por el Ministerio de Educación de Chile (MINEDUC) los principios orientadores de la educación ambiental son los siguientes:

- Incorporar los objetivos de la educación ambiental considerando todas las dimensiones conceptuales: conciencia, conocimientos, actitudes, aptitudes, capacidad de evaluación y participación [31].
- Abarcar los valores como foco del quehacer de la educación ambiental [31].
- Generar propuestas pedagógicas contextualizadas y socialmente relevantes para el trabajo con los niños [31].
- Tener un enfoque transdisciplinario como medio para organizar el conocimiento [31].
- Considerar la dimensión territorial, comunitaria y de redes de colaboración entre las nuevas maneras de trabajar la educación ambiental [31].
- Valorar la riqueza del territorio para la comprensión de los fenómenos socioambientales.
- Reconocer la educación al aire libre como una metodología didáctica para fortalecer la relación naturaleza-sociedad entre niños y niñas [31].
- Establecer un enfoque teórico-práctico que permita transformar la realidad natural y sociocultural [31].
- Comprender que la cultura e identidad local juegan un rol decisivo en la transformación de la sociedad que valore y respete su entorno natural y social [31].
- Promover el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y creativo para fomentar el cuestionamiento de las actuales relaciones entre la naturaleza y la sociedad [31].

- Diseñar estrategias didácticas que consideren las emociones y el vínculo con el entorno natural y sociocultural, permitiendo generar identidad y pertenencia con el territorio [31].

5.5.3. Normativa sobre Educación Ambiental en Chile

5.5.3.1. Ley 19.300

La Ley 19.300 fue promulgada en 1994 y establece las bases generales del medio ambiente en Chile. Es fundamental para la educación ambiental porque establece el marco legal que promueve la educación y sensibilización en temas medioambientales como parte de las políticas públicas del país [32].

La Ley establece que la Educación Ambiental es "un proceso permanente de carácter interdisciplinario destinado a la formación de una ciudadanía que reconozca valores, aclare conceptos y desarrolle las habilidades y las actitudes necesarias para una convivencia armónica entre seres humanos, su cultura y su medio físico circundante" (Art N°2, letra h. de la Ley 19.300) [32].

5.5.3.2. Ley 20.370

Corresponde a Ley General de Educación y establece los principios y bases del sistema educacional chileno. Promueve la inclusión de valores y contenidos que fomenten el respeto por el medio ambiente y la responsabilidad social en el currículum escolar [33].

La Ley en su artículo 3, establece que el sistema educativo chileno se basa en los derechos garantizados por la Constitución y los tratados internacionales ratificados por Chile. Además, uno de los principios fundamentales del sistema educativo es la sustentabilidad. En letra k de este artículo, se menciona que "El sistema fomentará el respeto al medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, como expresión concreta de la solidaridad con las futuras generaciones" [33].

5.5.3.3. Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable

La Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable (PNEDS) fue lanzada en 2009 por el Ministerio de Educación de Chile. Esta política surge como respuesta a las demandas internacionales y nacionales de integrar la educación para el desarrollo sustentable en todos los niveles educativos. A nivel internacional, esta

política se alinea con la "Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible" promovida por la UNESCO, que buscaba fomentar la educación sostenible a nivel global entre 2005 y 2014 [34], [35].

En Chile, la PNEDS se desarrolló a partir de la necesidad de sintetizar experiencias educativas que abarcaban temas ambientales, sociales y económicos, y fue aprobada en 2009 como una hoja de ruta para integrar la sustentabilidad en el sistema educativo nacional [34].

5.5.3.4. Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales

El Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales (SNCAE), es un programa implementado por el Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Educación, la Corporación Nacional Forestal y UNESCO [34].

Esta iniciativa es de carácter voluntario e invita a los establecimientos educacionales (a partir de sus distintos niveles de aprendizaje) a postular a la instalación de un sistema de gestión ambiental que incluye un marco histórico, cultural y territorial en la que se encuentra la comunidad educativa, con el fin de contar con una visión integradora desde la escuela acerca del entorno natural mediante la implementación de líneas de gestión ambiental en los currículos educativos. Al certificar establecimientos educacionales que cumplen con criterios de sostenibilidad, se fomenta una cultura ambiental en las escuelas y se promueve la educación para el desarrollo sostenible [31], [34].

5.5.4. Estrategias para implementar la Educación Ambiental

Existen diversas estrategias que se pueden llevar a cabo para aplicar la Educación Ambiental dentro de una comunidad escolar. A continuación, se presentan algunas de las estrategias mencionadas en la literatura:

- Incorporar temas ambientales dentro de las asignaturas existentes para un enfoque interdisciplinario [36].
- Realizar actividades al aire libre para que los estudiantes interactúen directamente con su entorno natural [36].
- Desarrollar proyectos ambientales específicos que aborden problemas locales o escolares, como reciclaje, reforestación, o reducción de residuos [36].

- Identificar problemas ambientales, formular hipótesis, recolectar datos, y proponer soluciones usando el método científico [36].
- Fomento de la participación estudiantil a través de grupos de trabajo, promoviendo el trabajo en equipo y la cooperación [37].
- Hacer que los estudiantes identifiquen y analicen problemas ambientales locales, específicos de su entorno [36].
- Organizar talleres y charlas educativas [38].
- Evaluar los resultados de las actividades y hacer retroalimentaciones [36].

5.6. Escasez Hídrica

La escasez hídrica es un fenómeno que afecta a múltiples regiones de Chile, en 2021 el 53% de las comunas del país fueron declaradas zonas de escasez hídrica [8] y en la región de Valparaíso, casi el 97% de las comunas están bajo decreto de escasez hídrica [9]. En este contexto, comprender este fenómeno es fundamental, ya que la comunidad escolar de la Escuela Básica Las Palmas enfrenta directamente sus consecuencias.

La escasez hídrica se define como la falta volumétrica en el suministro de agua. Se calcula como la proporción del uso humano de agua con respecto al suministro de agua disponible en un área determinada [39].

Hay que tener en cuenta que la sequía y la escasez hídrica son eventos distintos, aunque a menudo ocurren simultáneamente. La sequía se refiere al déficit de precipitaciones (sequía meteorológica) o caudal de los ríos (sequía hidrológica), mientras que la escasez hídrica involucra también el uso que se da al agua, no solo los procesos hidrológicos y meteorológicos. Este factor está relacionado con las decisiones y la gestión del recurso por parte de quienes lo administran, lo que implica un rol importante del ser humano [40].

En Chile, el presidente de la República puede declarar escasez hídrica en zonas con sequía extrema, basándose en criterios hidrometeorológicos como precipitaciones, caudales de ríos, volúmenes de embalses y condiciones de acuíferos, según el Código de Aguas. Sin embargo, no existen indicadores o herramientas para monitorear -además de los índices de sequía- el uso y la demanda del agua, lo que es clave para abordar la escasez hídrica [40].

Respecto a las causas, estudios identifican múltiples causas detrás de la crisis hídrica en Chile, una de estas es el cambio climático, se indica que la disminución de precipitaciones (30% menos

en la zona central desde 2010) y el derretimiento acelerado de glaciares y nieve, vinculados al calentamiento global, reducen la disponibilidad de agua superficial y subterránea [41].

Además, el modelo de gestión basado en derechos de aprovechamiento de aguas (Código de Aguas de 1981) ha permitido la concentración de derechos en sectores industriales, mineros y agroexportadores, agravando el estrés hídrico en comunidades rurales. Según Fundación Chile (2023), el 44% de los problemas hídricos se deben a fallas en la gestión de agua y su gobernanza, el 17% es provocado por el crecimiento de las actividades productivas y el sobre-otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas; un 14% por la contaminación del agua, como el uso de productos químicos en la agroindustria y el 12% es provocado por la disminución de precipitaciones de agua y nieve, el derretimiento de nieve y retroceso de glaciares por aumento de temperaturas [42].

Otro factor que contribuye a la escasez hídrica en Chile es el aumento de la población, que ha impulsado un aumento en la demanda de agua, lo que, combinado con la variabilidad climática y el cambio climático, ha exacerbado la escasez hídrica en el país. [41].

Esta situación trae múltiples consecuencias para las comunidades rurales, como la falta de acceso a agua potable, en Chile, 1.350 escuelas rurales (40% del total) carecen de abastecimiento regular de agua, afectando a más de 27.100 estudiantes. Esto obliga a las familias a depender de camiones aljibe o fuentes informales (pozos, ríos) [7]. Por otro lado, la desertificación y la falta de agua han reducido la producción agrícola y ganadera, aumentando la pobreza y migración rural [43]. Otra consecuencia son los conflictos socioambientales que pueden surgir por la competencia por el agua, esta situación genera tensiones entre comunidades locales, empresas y el Estado, especialmente en zonas con alta actividad minera o agroindustrial [43].

5.7. Carbón activado granular como método de filtración

El carbón activado granular (GAC) es un medio de adsorción poroso con una superficie interna extremadamente alta. El GAC se fabrica a partir de diversas materias primas con estructuras porosas, entre ellas, carbón bituminoso, carbón de lignito, turba, madera y cáscaras de coco. Los precursores más usados para producir carbón activado son la madera y los carbones minerales, siendo la cáscara de coco la biomasa más empleada. Se aplican procesos de fabricación físicos y/o químicos a estas materias primas para crear y/o agrandar los poros. Esto da como resultado una estructura porosa con una gran superficie por unidad de masa [44].

El GAC es útil para la eliminación de compuestos que producen sabor y olor, materia orgánica natural, compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos sintéticos y precursores de subproductos de la desinfección. Los compuestos orgánicos de alto peso molecular se adsorben fácilmente. Las capacidades de tratamiento varían según las propiedades del GAC, las cuales dependen de las materias primas utilizadas y los procesos de fabricación empleados. Esta tecnología ha demostrado ser altamente eficiente, logrando eliminar hasta un 99.9% de muchos COV, como tricloroetileno (TCE) y tetracloroetileno (PCE), sin embargo, hay que tener en cuenta que la capacidad de adsorción del carbón activado granular depende del contaminante específico y las condiciones operativas [44]. Los principales factores que afectan la eficiencia de los filtros de carbón activado son el peso molecular, el pH del agua (la adsorción es mejor a pH bajo), la concentración del contaminante, la dureza del agua, el tamaño del grano del carbón, el caudal y la temperatura.

5.7.1. Propiedades y estructura del carbón activado

Las propiedades del carbón activado dependen de las características del material de partida y del proceso de activación, con lo cual se puede variar el tamaño del poro y el área superficial para que responda a necesidades tecnológicas específicas [41]. Según la IUPAC, los poros se pueden clasificar en microporos (diámetro de poro <2 nm), mesoporos (diámetro de poro entre 2 y 50 nm) y macroporos (diámetro de poro >50 nm). En general, los carbones activados son esencialmente microporosos, con poros en forma de rendija, con superficies específicas aparentes que pueden superar los 3000 m2/g. El área de superficie especifica total del GAC generalmente oscila en un rango de 500 a 2500 m2/g y el tamaño de las partículas está en un rango entre 0,3 y 2,4 mm (el GAC presenta tamaños de partícula mayores de 0.177 mm) [42].
Los carbones activados no solo se caracterizan por su estructura porosa, sino también por su composición química, ya que contienen pequeñas cantidades de heteroátomos como oxígeno, hidrógeno o nitrógeno. Estos heteroátomos permiten que sustancias polares sean retenidas débilmente en la superficie del carbón activado. Esto se debe a que los átomos de carbono ubicados en los bordes de los planos estructurales tienen una alta reactividad, ya que no están completamente saturados con otros átomos de carbono y cuentan con electrones libres. Estos sitios reactivos suelen estar enlazados a heteroátomos, formando grupos funcionales superficiales que pueden modificar las propiedades adsorbentes del material. Entre estos grupos, los que contienen oxígeno son los más relevantes [45] (ver Figura 7). La química superficial del

carbón activado es anfótera, ya que presenta tanto grupos ácidos como básicos en su superficie. La acidez o basicidad global del carbón depende de la cantidad y la fuerza de estos grupos funcionales.

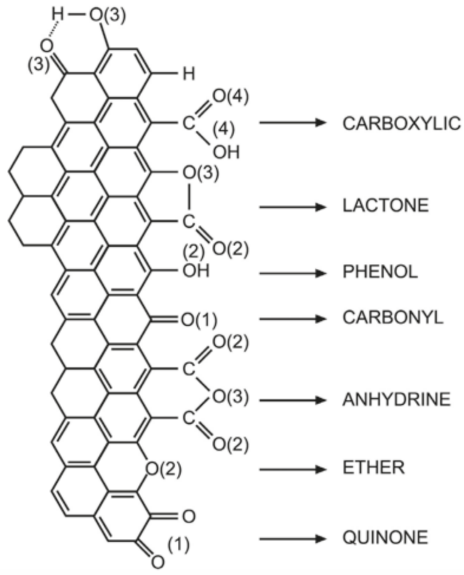


Figura 7. Principales grupos funcionales presentes en la superficie de un carbón activado. Fuente: Álvarez et al. (2014).

La estructura del carbón activado puede entenderse al compararla con la estructura del grafito (ver Figura 8). La estructura del grafito se compone de láminas de átomos de carbono, llamadas grafeno, dispuestas en hexágonos interconectados. Estas capas se apilan una encima de otra, unidas por fuerzas de Van der Waals. En el grafito, las capas no están directamente alineadas, sino que se desplazan ligeramente siguiendo un patrón ABABAB. La distancia entre estas capas es de 0.335 nm, y la distancia entre los átomos de carbono dentro de cada capa es de 0.142 nm. Dentro de cada capa, los átomos de carbono se enlazan fuertemente a través de enlaces híbridos sp2, lo que les da una gran estabilidad.

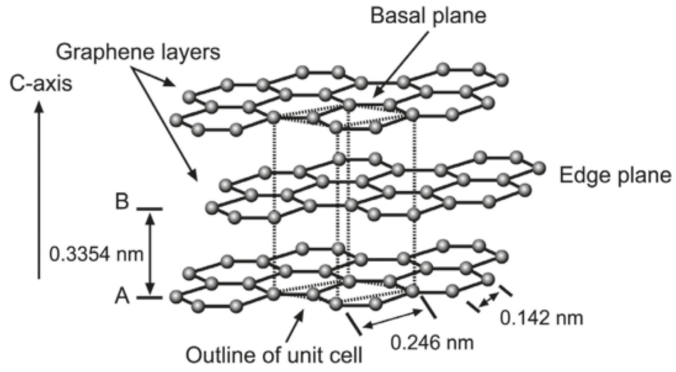


Figura 8. Estructura del grafito hexagonal. Fuente: Álvarez et al. (2014).

La estructura del carbón activado es una versión desordenada del grafito (ver Figura 9). Al igual que el grafito, está formado por láminas de átomos de carbono en forma de hexágonos. Sin embargo, a diferencia del grafito, el carbón activado carece de un orden regular en la forma en que se apilan estas capas. En cambio, las capas están entrecruzadas y dispuestas de forma aleatoria, creando una estructura tridimensional desordenada llamada estructura turboestática. Además, en el carbón activado es común encontrar imperfecciones en las capas, como anillos de cinco o siete átomos de carbono. Este desorden estructural aumenta la superficie disponible para la adsorción y hace que los átomos de carbono en los bordes de las capas sean más reactivos [45].



Figura 9. Representación esquemática típica de la microestructura del carbón activado. Fuente: Álvarez et al. (2014).

5.7.2. Obtención del carbón activado

Para producir el carbón activado primero se selecciona la prima (precursor), luego, el material pasa por varias etapas de acondicionamiento que incluyen lavado, molienda y secado para pasar al proceso de activación, posteriormente, se realizan nuevamente procesos de lavado, secado, molienda y trituración para finalmente obtener al producto final. El diagrama completo de este proceso se muestra en la Figura 10.

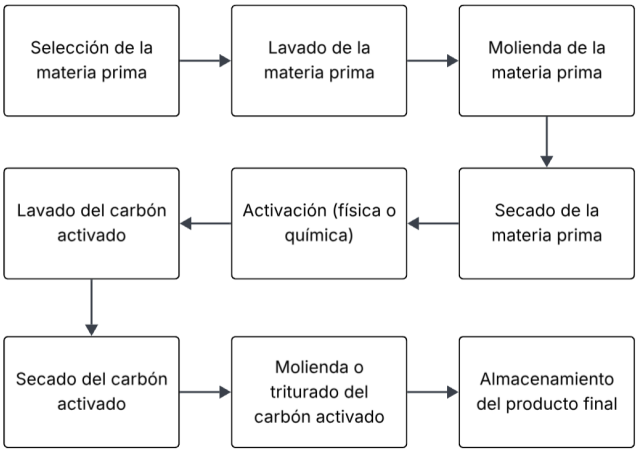


Figura 10. Producción del carbón activado. Elaboración propia.

Respecto al proceso de activación del carbón, este se puede llevar a cabo mediante dos métodos principales: activación física o activación química (ver Figura 11).

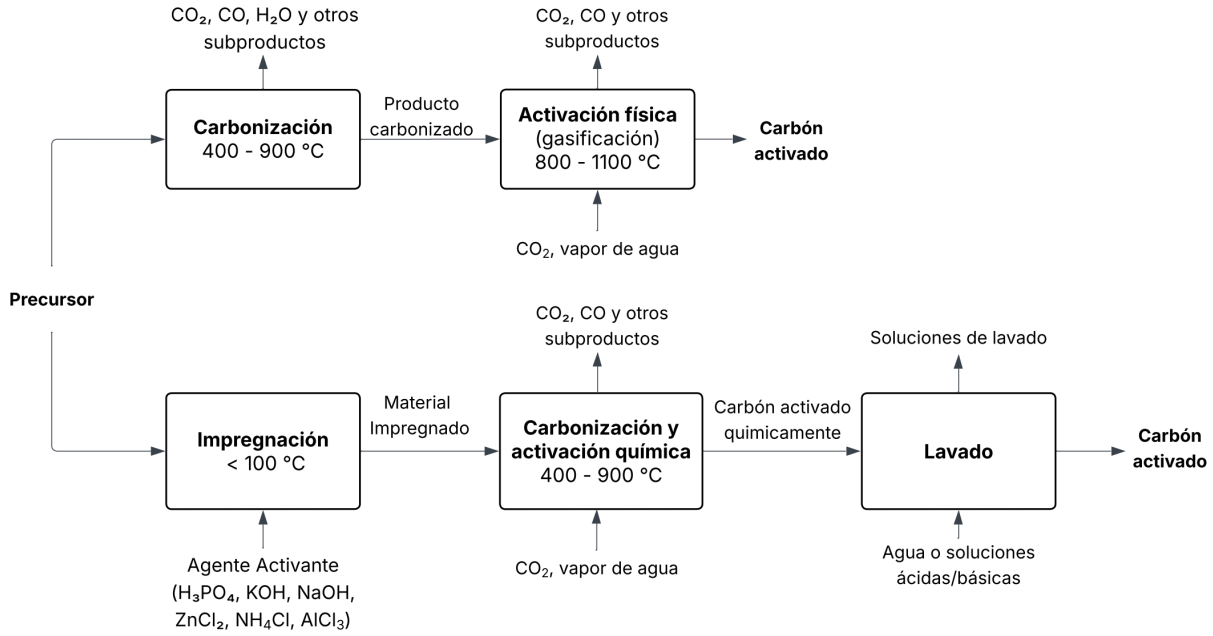


Figura 11. Métodos de activación para la producción de carbones activados. Elaboración propia.

5.7.2.1. Activación física

La activación física consta de dos etapas: la carbonización y la activación del producto carbonizado. La carbonización se realiza a través de la pirólisis de la materia prima, en un rango de temperaturas entre 400°C y 900°C, donde se genera una estructura porosa básica. Durante esta etapa, se eliminan elementos no carbonosos como hidrógeno y oxígeno, que se liberan en forma de gases, mientras que los átomos de carbono se reorganizan en formaciones cristalinas más ordenadas.

En esta etapa, la mayoría de los heteroátomos presentes en el precursor, como oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, son liberados como especies volátiles, lo que resulta en un enriquecimiento en carbono, un aumento en la aromaticidad y la microporosidad incipiente en comparación con el material original [45].

Luego de la carbonización, la activación física se lleva a cabo, este es un proceso de gasificación selectiva de átomos de carbono, en el cual no todos los átomos tienen la misma reactividad, el gas elimina selectivamente las partes más reactivas del carbón, formando óxidos de carbono a temperaturas entre 800°C y 1100°C. La reacción depende del tipo de gas, la estructura porosa inicial, los compuestos inorgánicos y la temperatura. Los gases más utilizados en la activación física son el vapor de agua y el dióxido de carbono, y el tipo de gas utilizado influye en las características de porosidad del carbón activado resultante. A continuación, se presentan las reacciones globales endotérmicas de gasificación con vapor de agua y con dióxido de carbono:

$$Gasificación\ con\ vapor\ de\ agua: C + H_2O \leftrightarrow H_2 + CO \quad \Delta H = 118\ KJ/mol$$

$$Gasificación\ con\ CO_2: C + CO_2 \leftrightarrow 2CO \quad \Delta H = 162\ KJ/mol$$

5.7.2.2. Activación química

La activación química comienza con una etapa de impregnación, en la cual el agente activante se mezcla con el material precursor. Generalmente, esta mezcla se realiza utilizando una solución concentrada del agente activante que se deja actuar sobre el material durante un tiempo determinado y a una temperatura inferior a 100°C. En algunos casos, el agente activante se añade en estado sólido, por lo que no es necesaria la impregnación. Luego de este proceso, se lleva a cabo una etapa pirolítica donde la carbonización y la activación ocurren simultáneamente en ausencia de aire, a temperaturas que varían entre 400°C y 900°C. Durante esta fase, el agente químico actúa deshidratando la materia prima y favorece el aumento del grado de aromatización del carbón, lo que contribuye a la formación de una estructura porosa tridimensional. Luego, es necesario realizar un lavado para eliminar el exceso de agente activante que haya quedado en el material [45].

Durante la activación química ocurren dos mecanismos principales: primero, la formación inicial de microporos que comienza durante la impregnación del precursor

y segundo, el ensanchamiento de estos poros debido a las reacciones químicas entre el agente activante y el carbón dentro de los poros.

Los agentes químicos más utilizados para la activación son el hidróxido de sodio y potasio, ácido fosfórico, cloruro de zinc y ácido sulfúrico. También se emplean otros compuestos como sulfuro de potasio, hidróxido de tiocianato de potasio, carbonatos metálicos y cloruros de calcio, hierro y magnesio. Todos estos agentes comparten la característica de ser deshidratantes, lo que influye en la descomposición que ocurre durante la pirólisis, inhibiendo la formación de subproductos como alquitranes, ácido acético y metanol, y aumentando la cantidad de carbón producido [45].

A continuación, se presentan las reacciones de activación con hidróxido de potasio, uno de los agentes químicos activantes más comunes, en este caso, los precursores que más se utilizan son el coque de petróleo y los carbones minerales:

$$1)\ 2KOH \rightarrow K_2O + H_2O$$

$$2)\ C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$$

$$3)\ CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$$

$$4)\ K_2O + CO_2 \rightarrow K_2CO_3$$

Sobre los 700°C, se suman las siguientes reacciones:

$$5)\ K_2O + H_2 \rightarrow 2K + H_2O$$

$$6)\ K_2O + C \rightarrow 2K + C$$

A continuación, se presenta una tabla que resume las principales ventajas y desventajas de los métodos de activación física y química en la producción de carbones activados.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los métodos de activación. Elaboración propia a partir de Álvarez et al. (2014).

Activación Física	**Activación Química**
Ventajas No corrosivo No requiere etapa de lavado No incorpora impurezas del agente activante	**Ventajas** Una sola etapa Tiempos de activación menores Menores temperaturas Mejor control de la porosidad Alto rendimiento Elevadas superficies específicas
Desventajas Dos etapas Temperaturas más elevadas Peor control de la porosidad	**Desventajas** Proceso corrosivo Etapa de lavado

Además, en la Tabla 5 se presentan las principales materias primas y tecnologías de activación empleadas en la producción, junto con el tamaño de poro de los productos resultantes.

Tabla 5. Características de materias primas y sus propiedades en la producción de carbón activado. Elaboración propia a partir de Acevedo (2018).

Materia Prima	**Activación**	**Tamaño de Poros**
Madera de Pino	Deshidratación Química	Macroporoso
Madera de Pino	Térmica	Mesoporoso
Carbón Mineral Bituminoso	Térmica	Mesoporoso
Concha de Coco	Térmica	Microporoso

5.7.3. Adsorción

El GAC funciona mediante el proceso de adsorción, este es un fenómeno de concentración de un fluido sobre la superficie de un sólido o líquido; el fluido retenido sobre la superficie es nombrado adsorbato y, al elemento que ejerce la acción de retención se le denomina adsorbente, siendo el carbón activado el adsorbente más utilizado [47]. La adsorción generalmente está controlada por la transferencia de materia.

Hay distintos tipos de adsorción, la adsorción física ocurre cuando el adsorbato y el adsorbente se atraen por fuerzas intermoleculares, como fuerzas de Van der Waals o puentes de hidrógeno, el adsorbato conserva su naturaleza química, un ejemplo de este tipo de adsorción es el de la mayoría de las sustancias orgánicas en agua con carbón activado. En cambio, la absorción química ocurre cuando hay interacción química entre el adsorbato y el adsorbente, formando una conexión fuerte similar a un enlace químico, en este caso, el adsorbato sufre una transformación en su naturaleza química. La mayoría de los fenómenos de adsorción son combinaciones de estos dos tipos [47].

La Figura 12 representa el proceso de adsorción, donde moléculas de un fluido (fase líquida) se adhieren a la superficie del adsorbente. También se muestra el proceso inverso, la desorción, donde las moléculas se desprenden de la superficie del adsorbente y pasan a la fase líquida.

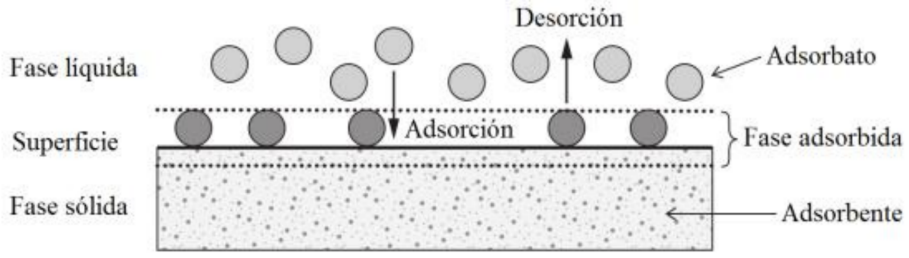


Figura 12. Proceso de adsorción. Fuente: Jiménez & González (2014).

La adsorción puede describirse como un proceso impulsado por un gradiente de concentración que induce el movimiento del adsorbato desde la fase fluida (líquido o gas) hacia la superficie sólida del adsorbente. Este gradiente genera una fuerza impulsora que lleva las moléculas o iones del adsorbato a superar diversas resistencias antes de alcanzar los sitios activos del adsorbente. Estas resistencias incluyen principalmente [48]:

- **Resistencia externa** (difusión en la película límite o difusión externa) en la cual las moléculas se transportan desde el seno del fluido hasta la superficie externa del adsorbente mediante difusión molecular. Esta etapa se describe mediante la ecuación:

$$N = k_f(C_{externa} - C^*)$$

Donde:

N es el flujo másico del adsorbato hacia la superficie del adsorbente (mol/m²·s).

K_f es el coeficiente de transferencia de materia externo (m/s).

C_b es la concentración del adsorbato en el seno del fluido (mol/m^3).

C^* es la concentración en equilibrio del adsorbato en la interfase sólido-fluido (mg/m^3).

- **Resistencia interna o intraparticular** (difusión interna) donde las moléculas del adsorbato se desplazan dentro de la estructura porosa del adsorbente hasta alcanzar sitios activos internos. Esta etapa puede modelarse mediante la ecuación de difusión de Fick aplicada a la partícula adsorbente:

$$N = D_e \frac{dC}{dx}$$

Donde:

N es el flujo másico del adsorbato hacia la superficie del adsorbente (mol/m²·s).

D_e es la difusividad efectiva de poros (m^2/s).

dC/dx es el gradiente de concentración (mol/m^4).

Finalmente, la molécula llega a los sitios activos en la superficie interna de los poros, donde se produce la adsorción, en este proceso se puede describir el equilibrio entre el adsorbato y el adsorbente mediante modelos matemáticos como las isotermas de adsorción, las cuales describen la relación entre la cantidad de adsorbato que se adhiere al adsorbente y la concentración del adsorbato en el medio circundante, a una temperatura constante. En la Figura 13 se pueden visualizar las isotermas de adsorción en fase líquida según la clasificación propuesta por Giles y colaboradores, que divide las isotermas en cuatro grupos principales: S,

L, H y C, dependiendo de la forma inicial de la curva. Las isotermas tipo S son cóncavas, indicando que la adsorción mejora al aumentar la concentración. El tipo L indican saturación progresiva con concentración constante en equilibrio. El tipo H presentan una fuerte pendiente inicial reflejando alta afinidad adsorbato-adsorbente, mientras que el tipo C mantienen pendiente constante hasta alcanzar su saturación máxima [48]. Cada uno de estos grupos tiene subgrupos relacionados con la formación de capas adsorbidas y mecanismos específicos del proceso.

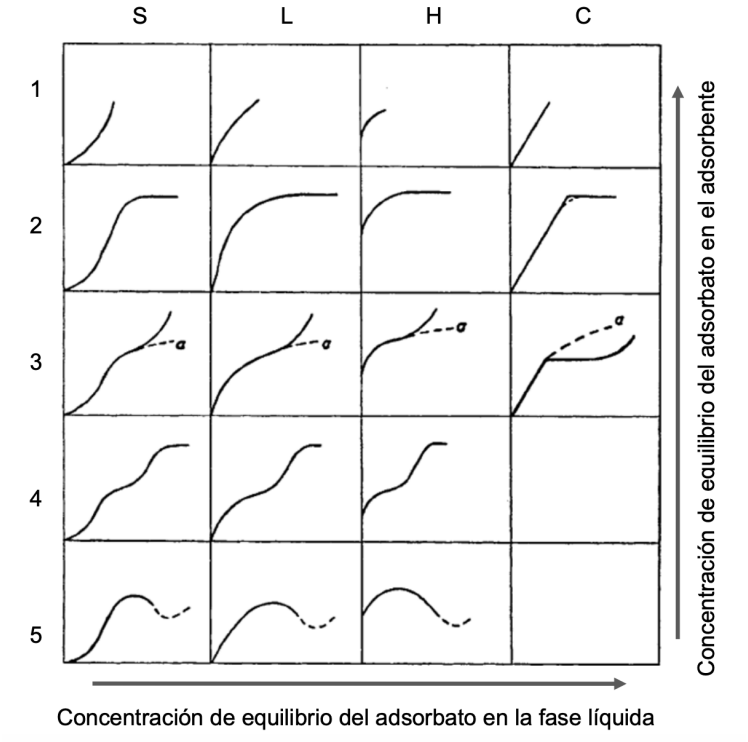


Figura 13. Isotermas de adsorción. Fuente: Omenat (2016).

A continuación, se presentan dos de los modelos más utilizados para representar este fenómeno [48]:

- **Isoterma de Langmuir** (propuesta en 1918) se basa en distintas suposiciones, la primera es que la superficie del adsorbente es homogénea, lo que significa que todos los sitios de adsorción son idénticos. Además, supone que no hay interacciones entre las moléculas de adsorbato adsorbidas, que la adsorción ocurre en una monocapa y que cada sitio de adsorción solo puede adsorber una molécula de adsorbato. La ecuación que describe el modelo es:

$$q_e = \frac{K_L \cdot q_m \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e}$$

Donde:

K_L es la constante de Langmuir (m^3/mg).

q_m es la capacidad de adsorción de una monocapa sobre el adsorbente (mg/g).

C_e es la concentración de equilibrio del adsorbato en la disolución (mg/m^3).

q_e es la cantidad adsorbida por unidad de masa de adsorbente (mg/g).

- **Isoterma de Freundlich** (propuesta en 1906) es un modelo empírico que se basa en las siguientes suposiciones; la superficie del adsorbente es heterogénea, lo que significa que los sitios de adsorción no son idénticos. Además, supone que la adsorción puede ocurrir en multicapas, es decir, que varias capas de moléculas de adsorbato pueden adherirse a la superficie. Y, por último, supone que hay interacciones entre las moléculas de adsorbato adsorbidas. La ecuación de Freundlich es la siguiente:

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

C_e es la concentración de equilibrio del adsorbato en la disolución (mg/m^3).

q_e es la cantidad adsorbida por unidad de masa de adsorbente (mg/g).

K_F ($(m^3)^{1/n}$ $mg^{1-1/n}$ g^{-1}) y n [-] son parámetros característicos del sistema adsorbato-adsorbente estudiado a una temperatura dada. De tal forma que cuanto es mayor K_F la capacidad del adsorbente aumenta y si n>1 indica que la adsorción es favorable.

5.7.4. Saturación

El carbón activado granular (CAG) se utiliza comúnmente en columnas o tanques por los que circula el fluido a purificar. Durante la operación de un filtro con flujo descendente, el lecho de carbón se divide en tres zonas (ver Figura 14), la zona saturada (carbón agotado), la zona de transferencia de masa (ZTM) y la zona virgen o no utilizada.

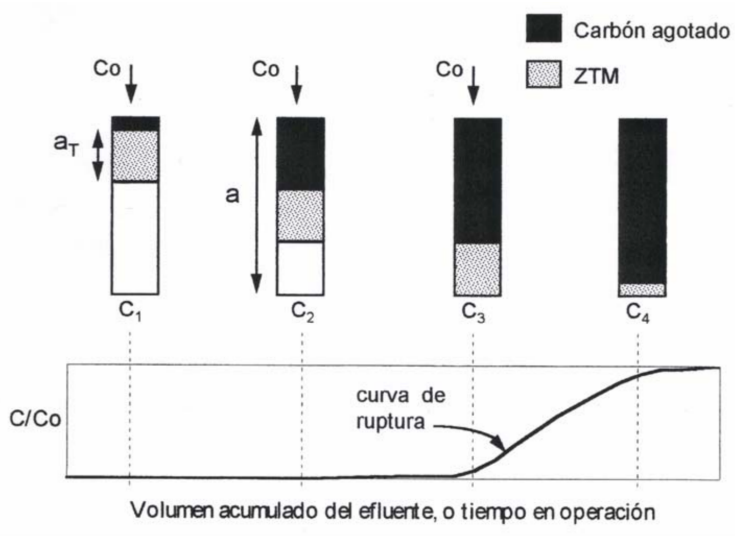


Figura 14. Zonas en un lecho de GAC. Fuente: Pérez (2004).

La zona saturada corresponde a la parte superior del lecho donde el carbón ya ha adsorbido toda la cantidad posible de contaminantes y no puede retener más. Justo debajo se encuentra la zona de transferencia de masa (ZTM), que es la región activa donde ocurre la adsorción del contaminante. Finalmente, la zona virgen está compuesta por carbón aún sin utilizar, que mantiene toda su capacidad de adsorción [49].

Conforme el proceso avanza, la ZTM se desplaza gradualmente hacia la parte inferior del lecho, hasta alcanzar el fondo de la columna, este punto se conoce como punto de ruptura, la concentración del contaminante en el efluente comienza a aumentar rápidamente, ya que el carbón activado comienza a perder su capacidad para retener el adsorbato. La curva que representa la concentración relativa del contaminante en el efluente comparada con el volumen acumulado o tiempo de operación se denomina curva de ruptura, presente en la Figura 14.

Después del punto de ruptura, la calidad del efluente se deteriora hasta alcanzar el punto de saturación, donde el lecho de carbón está completamente saturado y la concentración del contaminante en el efluente es prácticamente igual a la del influente. En este estado, el filtro ha perdido su capacidad de purificación y debe ser reemplazado o regenerado para restaurar su eficiencia.

5.7.5. Aplicaciones

El carbón activado es ampliamente utilizado como adsorbente, siendo especialmente eficaz en el tratamiento de aguas. Entre sus aplicaciones principales destaca la eliminación de compuestos

volátiles, materia orgánica refractaria, metales pesados, hidrocarburos, cloro libre y fenoles colorantes.

En el tratamiento de aguas residuales, el carbón activado se puede utilizar en las diferentes etapas del proceso. En el tratamiento primario puede actuar como floculante mineral, además, es utilizado en filtros anaerobios para mejorar la remoción de compuestos específicos durante tratamientos secundarios. También es eficaz en procesos de desgasificación, eliminando compuestos inhibidores presentes en las aguas residuales. En los tratamientos terciarios, el carbón activado elimina eficientemente compuestos orgánicos recalcitrantes que no son removidos en etapas previas, controlando además olores con mayor eficiencia que otros materiales filtrantes. Normalmente se utiliza en dosis menores a 5 mg/L, aunque esta cantidad varía según las características del agua a tratar y los niveles de calidad requeridos [50]. Puede emplearse individualmente o combinado con arena. En la Figura 15 se presenta un diagrama de una columna para eliminación de materia orgánica recalcitrante.

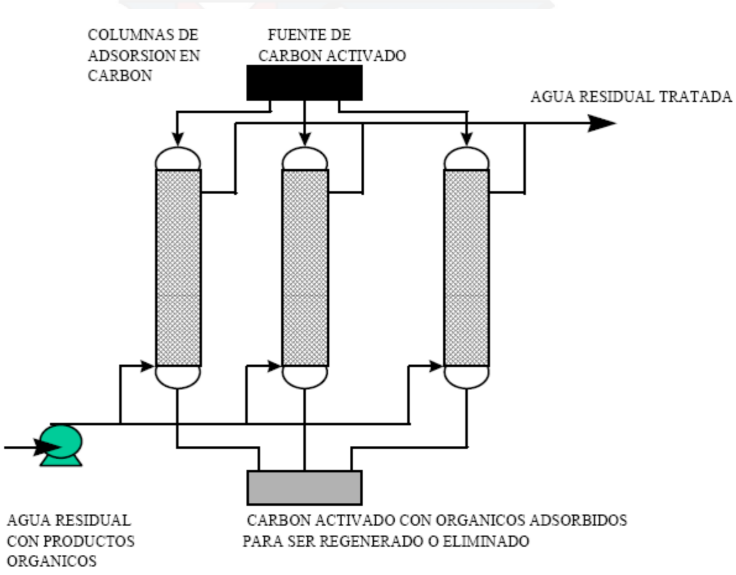


Figura 15. Columna para eliminación de materia orgánica recalcitrante. Fuente: Guerrero (s.f).

Otras aplicaciones importantes incluyen la purificación de agua potable, eliminación de microcontaminantes, soporte para crecimiento microbiano, purificación del aire y usos específicos en minería para la recuperación de metales valiosos. Asimismo, es eficaz en la adsorción de materia orgánica natural (MON), compuestos orgánicos sintéticos (como aceites, pesticidas y detergentes) y subproductos de la desinfección del agua como trihalometanos, los cuales son, cloroformo ($CHCl_3$), bromodiclorometano ($CHBrCl_2$), dibromoclorometano ($CHBr_2Cl$) y bromoformo ($CHBr_3$) [48]. También se utiliza para eliminar el cloro libre residual,

que en la industria puede afectar a distintos procesos y equipos. El carbón activado elimina el cloro libre y las cloraminas mediante una reacción de reducción catalítica, en la que el carbón actúa como reductor transfiriendo electrones al desinfectante. Así, el cloro molecular (Cl_2) o el ácido hipocloroso (HClO) se reducen a iones cloruro (Cl^-), que son inocuos. Esta reacción es rápida (30 a 40 segundos), mucho más rápida que la adsorción de materia orgánica, que requiere varios minutos (5 a 10 minutos). Las reacciones simplificadas para cloro libre y cloraminas son las siguientes:

$$Cloro\ libre: HOCl + C^* \rightarrow Cl^- + productos\ oxidados\ del\ carbón$$

$$Cloraminas: NH_2Cl + C^* \rightarrow NH_3 + Cl^- + productos\ oxidados\ del\ carbón$$

Donde C^* representa al carbón activado en su forma activa.

5.8. Fuentes primarias de información: encuestas y entrevistas

En el marco de la investigación, la recopilación de datos se puede realizar mediante distintas fuentes de información. Estas fuentes se clasifican principalmente en primarias, secundarias y terciarias, cada una con características y usos específicos.

Las fuentes primarias son aquellas que contienen información original, no filtrada ni interpretada por terceros. Estas fuentes son directamente relacionadas con el evento o tema que se investiga. Ejemplos de fuentes primarias incluyen documentos oficiales, publicaciones periódicas, testimonios de expertos, videos documentales, y en el contexto de este trabajo, entrevistas y encuestas [51].

Por otro lado, las fuentes de información secundaria procesan y sintetizan la información de las fuentes primarias. Incluyen libros, monografías, revistas especializadas, informes de investigaciones y artículos académicos. Las fuentes secundarias facilitan el acceso a la información primaria y permiten ampliar o confirmar los hallazgos de una investigación [51].

Por último, las fuentes de información terciaria son una categoría de fuentes que combinan y sintetizan información de fuentes primarias y secundarias [51].

5.8.1. Encuestas

Las encuestas son un "modo de obtener información mediante un cuestionario estandarizado con el fin de estudiar distintas variables (según enfoque de investigación) y su relación con el objeto de estudio" [52]. Las principales características de esta fuente de información son:

- La información se obtiene mediante una observación indirecta de los hechos, a través de las manifestaciones realizadas por los encuestados, por lo que cabe la posibilidad de que la información obtenida no siempre refleje la realidad [53].
- La encuesta permite aplicaciones masivas, que mediante técnicas de muestreo adecuadas pueden hacer extensivos los resultados a comunidades enteras [53].
- El interés del investigador no es el sujeto concreto que contesta el cuestionario, sino la población a la que pertenece; de ahí, como se ha mencionado, la necesidad de utilizar técnicas de muestreo apropiadas [53].
- Permite la obtención de datos sobre una gran variedad de temas [53].
- La información se recoge de modo estandarizado mediante un cuestionario (instrucciones iguales para todos los sujetos, idéntica formulación de las preguntas, etc.), lo que faculta hacer comparaciones intragrupales [53].

5.8.2. Entrevistas

La entrevista es "una conversación dirigida entre el investigador y un individuo o grupo de individuos con el propósito de recolectar información" [54]. Las entrevistas se clasifican en:

- Estructuradas: Siguen un guion predefinido de preguntas, lo que permite obtener datos consistentes y comparables. [55].
- No estructuradas: Permiten una conversación más libre y flexible, facilitando una exploración más profunda del tema [55].
- Semi-estructuradas: Combinan preguntas predefinidas con espacio para improvisar, lo que permite al entrevistador profundizar en las respuestas según sea necesario [55].

6. Presentación del establecimiento educacional

La Escuela Básica Las Palmas está ubicada a 6 kilómetros de Llay-Llay, en la localidad de las palmas, específicamente en la calle Las Palmas s/n. Fue fundada en el año 1933 y pertenece al Departamento de Administración de Educación Municipal (DAEM) de Llay-Llay, que es una unidad administrativa dentro de la Municipalidad de Llay Llay y que debe cumplir con las leyes, reglamentos y directrices del MINEDUC. La Figura 16 muestra la ubicación de la Escuela Básica Las Palmas.



Figura 16. Ubicación de la Escuela Básica Las Palmas. Fuente: Google Maps.

El establecimiento cuenta con una matrícula de 124 estudiantes, que cursan desde Pre-kínder hasta octavo básico. A medida que el número de alumnos ha aumentado, se han ido separando los niveles, aunque hasta sexto básico aún se trabaja con cursos multigrado. Además, la escuela cuenta con 15 docentes y 11 asistentes de la educación (incluyendo psicopedagoga y fonoaudióloga).

La escuela funciona bajo Jornada Escolar Completa Diurna (JECD). La jornada lectiva de los estudiantes es de lunes a jueves, de 08:30 a 16:00 horas, y los viernes de 08:30 a 13:30 horas. En el caso de docentes y asistentes de la educación, el horario es de lunes a jueves, de 08:30 a 18:00 horas, y los viernes de 08:00 a 14:00 horas. Sus instalaciones son 9 salas de clase, una biblioteca y una sala de enlace.

En cuanto a indicadores, el Índice de Vulnerabilidad Escolar (IVE-SINAE) corresponde a un 95,9%, este es un indicador que mide el porcentaje de estudiantes en un establecimiento educativo que se encuentran en situación de vulnerabilidad y se construye a partir del Sistema Nacional de Asignación con Equidad (SINAE) [56]. Y el Índice de Vulnerabilidad Multidimensional (IVM) para el 2023 se clasifica como Alto en Educación Parvularia y Primer Ciclo, y para el Segundo Ciclo no existe esta información. Cabe destacar que la escuela tiene un alto porcentaje de estudiantes que proviene de la comunidad boliviana, principalmente de Cochabamba, que es una comunidad rural con población de pueblos originarios, la Fundación Acompañando Pasos apoyan la integración de los niños bolivianos para que asistan a la escuela. Por otro lado, la escuela promueve una formación en torno al cuidado del medioambiente, todas las asignaturas están ligadas a este sello, las asignaturas fomentan la reutilización, la implementación de huertos, tienen una asignatura de medio ambiente, entre otras acciones. La Figura 17 muestra un compendio de registro fotográfico de la Escuela Las Palmas, extraído del documento de contextualización de la escuela del proyecto FSM 2395.

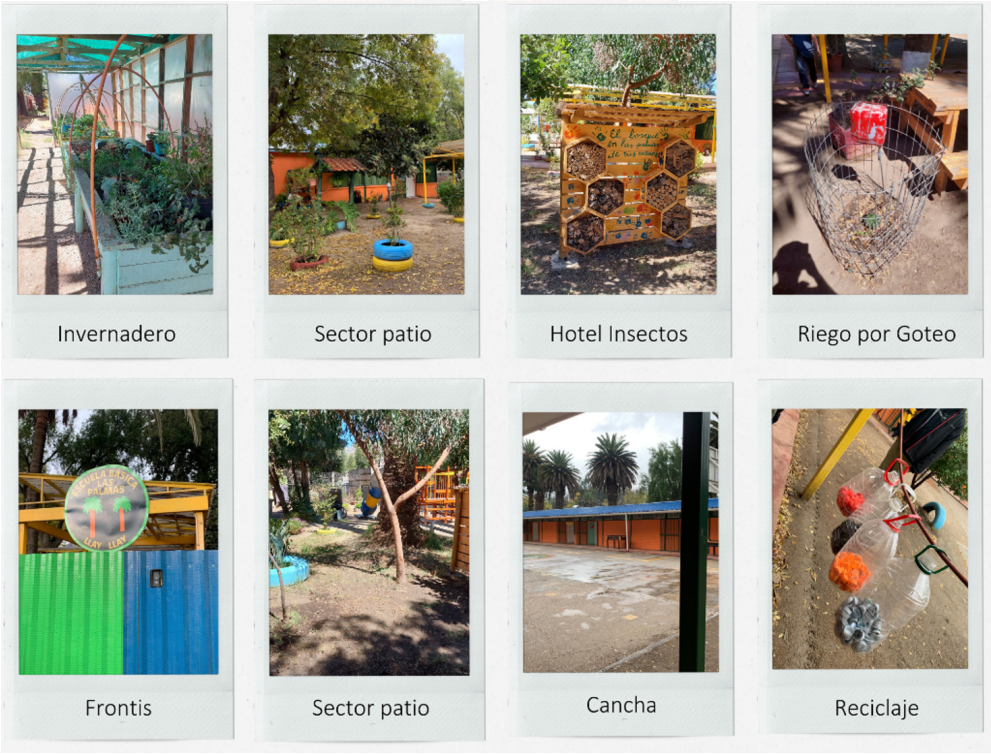


Figura 17. Compendio de Registro Fotográfico Escuela Las Palmas. Fuente: Proyecto FSM 2395.

6.1. Sellos pedagógicos

La Escuela Básica Las Palmas tiene dos sellos pedagógicos:

- Escuela promotora del cuidado y protección del Medio Ambiente [57].
- Escuela, que por medio de actividades artísticas culturales y recreativas, promueve la participación e integración de todos los miembros de la comunidad educativa, directivos, docentes, estudiantes, asistentes de la educación, profundizando la participación de padres y apoderados [57].

Gracias a esta orientación, ha obtenido el sello medioambiental de excelencia (vigente hasta 2023) y el sello de integración familiar con nivel de excelencia.

6.2. Misión y visión

La misión de la escuela es "Promover una formación de estudiantes con responsabilidad social y cuidado del Medio Ambiente con perseverancia ante las dificultades y tolerancia a la diversidad. Por medio de la adquisición de hábitos de disciplina, atendiendo a metodologías de innovación y fomentando en todo momento, la honestidad y participación de la familia, logrando ser una escuela reconocida por la promoción y cuidado del medio ambiente, así como también por la integración de la familia en la comunidad educativa" [57].

Mientras que, la visión es llegar a "ser una escuela reconocida en la comuna de Llay-Llay, por su formación de calidad y eficacia en sus estudiantes, potenciando habilidades académicas y sociales, a través de la responsabilidad, perseverancia y tolerancia. La Escuela Básica Las Palmas formará estudiantes con un alto grado de respeto hacia el entorno natural, social y cultural" [57].

6.3. Abastecimiento y gestión del agua

La fuente principal de agua para la escuela es el sistema APR que abastece a la comunidad de Las Palmas. El establecimiento no cuenta con un sistema de recolección y reciclaje de aguas, pero no ha experimentado cortes en el suministro. Históricamente se utilizaba un pozo para riego, el cual hoy se encuentra seco y fue clausurado por recomendación de la SEREMI.

Pese a que la última medición de la calidad del agua (diciembre de 2023) no evidenció problemas significativos, aún persiste la duda sobre la posible presencia de metales pesados.

7. Metodología

7.1. Diseño Metodológico

El diseño metodológico utilizado corresponde a un enfoque mixto, los métodos mixtos combinan la perspectiva cuantitativa (como los análisis de muestras de agua) y cualitativa (encuestas y entrevistas) en un mismo estudio, con el objetivo de darle profundidad al análisis [58].

Según Creswell y Plano Clark (2011), el enfoque mixto se justifica cuando ni los métodos cuantitativos ni los cualitativos por sí solos son suficientes para abordar el problema de investigación, permitiendo así que uno complemente las limitaciones del otro [59].

Además, el método tiene un enfoque secuencial, porque se divide en fases que se realizan una después de otra, permitiendo que los hallazgos de una fase guíen la siguiente.

De forma transversal, toda la metodología se genera en torno a los elementos clave de la sostenibilidad descritos en la Sección 5.4, los cuales son, apropiación técnica, viabilidad económica, aceptabilidad social, protección del medio ambiente y funcionalidad continua. Cada fase incorpora acciones y/o criterios que apuntan a garantizar que la tecnología elegida pueda ser comprendida y mantenida por la comunidad escolar, que los costos de operación y mantenimiento sean viables, que el sistema sea socialmente aceptado y que mantenga su desempeño durante toda su vida útil.

7.2. Fases Metodológicas

7.2.1. Fase 1: Diagnóstico inicial

En esta fase se realizan las primeras visitas al establecimiento y se aplican los instrumentos del proyecto FSM2395 para realizar el diagnóstico y el levantamiento de información. Estas visitas y actividades están orientadas a la escasez hídrica dado el marco del proyecto. Luego se analizan los datos recolectados en para identificar la problemática a resolver.

7.2.1.1. Realización de las primeras visitas a la escuela y acercamiento con la comunidad escolar

Visita introductoria: Se lleva a cabo una primera visita introductoria a la Escuela Las Palmas, con el propósito de conocer el establecimiento y tener un primer acercamiento con la comunidad escolar.

Entrevista grupal: En la segunda visita se realizó una entrevista grupal dirigida a los encargados del área medioambiental, profesores y asistentes de la educación. El objetivo fue obtener una percepción más completa de cómo la escuela aborda la problemática de escasez hídrica. La entrevista fue grabada para su posterior análisis y se centró en las siguientes dimensiones: contextualización, perspectiva de género, procesos de uso y reutilización de agua, abordaje de la problemática y propuestas.

Taller participativo: La tercera visita consistió en un taller participativo dirigido a estudiantes de segundo ciclo básico, este taller tuvo como objetivo generar un espacio donde niños, niñas y jóvenes pudieran compartir experiencias relacionadas con el agua en un contexto de escasez hídrica. Como actividad central, los estudiantes crearon cuentos sobre cómo conviven los niños y las niñas con el agua en la comunidad, y compartieron sus relatos con el grupo.

7.2.1.2. Aplicación de instrumentos del Proyecto FSM 2395

Encuesta de levantamiento técnico: Dirigida al encargado/a del área medioambiental o directivo de la escuela, esta encuesta buscó levantar información sobre los procesos de uso y reutilización de agua en el establecimiento. Las dimensiones cubiertas incluyeron: accesibilidad, disponibilidad, almacenamiento, soporte eléctrico, sistema de bombeo, distribución, calidad, percepción de la calidad, formación y capacitación, así como sistemas de reciclaje y captación de agua.

Encuesta de percepción: Dirigida a padres, madres y apoderados de los cursos de segundo ciclo básico. Se utilizó un formato Likert tanto en versión online como física. Las dimensiones de la encuesta incluyeron: contexto, perspectiva de género, procesos de uso y reutilización de agua, relación con la escuela y propuestas.

7.2.2. Fase 2: Análisis técnico y selección del sistema de filtración

Es fundamental realizar un análisis técnico preliminar para determinar el sistema de filtración más adecuado para la escuela. Este análisis involucra varios factores, como realizar un

diagnóstico inicial de la calidad del agua, estimar el consumo mensual de agua, evaluar la infraestructura de la escuela e identificar posibles riesgos asociados con el lugar de instalación. A partir de estos resultados, se comparan las opciones de filtros disponibles en el mercado para finalmente seleccionar el filtro que se adapte mejor a las necesidades específicas de la escuela.

7.2.2.1. Realizar un análisis inicial de la calidad del agua

Ensayo microbiológico: Se analiza el agua de los bebederos y la cocina de la escuela mediante un ensayo microbiológico para la determinación de coliformes totales y Escherichia coli. Se aplicó la norma UNE-ISO 9308-2: 2012, que mide el número más probable (NMP) de coliformes totales por cada 100 mL de agua y verifica la presencia o ausencia de Escherichia coli en la muestra (método de presencia/ausencia).

Visita al APR de Las Palmas: Se realiza una visita al sistema de APR del sector Las Palmas para obtener información reciente sobre la calidad del agua potable, por lo que se solicitan los informes de ensayo de agua potable de los últimos tres meses. Los parámetros analizados mensualmente fueron microbiológicos (coliformes totales, Escherichia coli) y fisicoquímicos (p. ej., turbiedad, pH, olor, sabor, cloro residual), mientras que en uno de esos meses se incluyó un análisis químico completo (metales, aniones, entre otros), este análisis se realiza semestralmente. Los métodos empleados se basaron en la norma NCh1620/1:2020 para coliformes totales, utilizando tiosulfato de sodio como preservante; métodos ME-01-2007 SISS 2007 para Escherichia coli, también con tiosulfato de sodio; métodos ME-29-2007 SISS 2007 para pH; kit de terreno basado en el método IS58 para cloro residual; y métodos SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B para metales, entre otros métodos especificados por la SISS para los diferentes parámetros analizados.

7.2.2.2. Estimación del consumo de agua en la escuela

Se estima el consumo diario, mensual y anual de agua en la escuela en base a factores como las boletas de consumo, la cantidad de estudiantes y estimaciones derivadas de la literatura. Esta información se utiliza para escoger el sistema de filtración más adecuado, que pueda cubrir las necesidades de la escuela y que exista la posibilidad de prolongar su uso.

7.2.2.3. Verificar la infraestructura de la escuela para determinar la viabilidad del filtro

Se lleva a cabo un análisis de la infraestructura de la escuela, enfocado en la ubicación de los puntos de consumo de agua y los sistemas de distribución de agua en la escuela. Este paso es importante para determinar las especificaciones técnicas del filtro, ya que el sistema debe adaptarse al espacio disponible, ser accesible y resistente para evitar posibles daños.

7.2.2.4. Determinación de riesgos asociados

Se realiza un análisis de los posibles riesgos relacionados con el lugar de instalación del sistema de filtración, considerando factores como las condiciones ambientales (exposición a variables meteorológicas como lluvia, sol o humedad), accesibilidad y seguridad (posibilidad de manipulación por parte de los niños), así como la proximidad a áreas de alto tránsito o zonas recreativas.

7.2.2.5. Comparación de filtros en el mercado

Se investiga sobre las opciones de filtros disponibles en el mercado, considerando los requisitos técnicos y necesidades de la escuela, como los factores mencionados anteriormente. Se comparan diferentes características como el tipo de filtro, contaminantes que retiene, capacidad de volumen de agua que puede filtrar, vida útil y los costos asociados.

7.2.2.6. Selección del filtro más adecuado

Luego de comparar las opciones de filtros disponibles, se procede a seleccionar el filtro más adecuado. Esta selección se basa en los resultados del análisis técnico previo realizado en esta fase.

7.2.3. Fase 3: Implementación del sistema

En esta fase, se implementa el sistema de filtración seleccionado, para esto, se genera y adquiere una lista de requerimientos y luego se instala el sistema adaptándolo a la infraestructura de la escuela y el espacio disponible para la instalación. Además, para garantizar que sea sostenible a largo plazo, se realizan capacitaciones, talleres y charlas, y se incluyen todos los repuestos necesarios.

7.2.3.1. Elaboración de la lista de requerimientos y adquisición de materiales

Se elabora una lista de los materiales necesarios para la instalación del sistema de filtración, también incluye los repuestos de las piezas del filtro en caso de fallas, así como los recambios de los filtros por un período de tres años.

7.2.3.2. Instalación del filtro

Luego de adquirir los materiales, se realiza instalación del sistema teniendo en cuenta la infraestructura de la escuela y el espacio disponible, ya que, si es necesario, el diseño del sistema se debe adaptar para ajustarse a las condiciones del lugar. Además, la instalación se lleva a cabo fuera del horario de clases, porque se debe cortar el suministro de agua sin afectar las actividades escolares. La instalación requiere personal capacitado que pueda utilizar las herramientas necesarias y sepa cómo llevar a cabo el proceso.

7.2.3.3. *Capacitaciones*

Se realizan capacitaciones dirigidas a toda la comunidad escolar, incluidos los encargados del mantenimiento del sistema, en esta instancia se explica el funcionamiento del sistema instalado, cómo realizar los recambios de los filtros, en qué fecha realizarlos, qué hacer en caso de fallas y cuáles son los materiales de repuesto disponibles. El objetivo de esta instancia es que los miembros de la comunidad escolar estén correctamente informados y capacitados para asegurar que el sistema pueda operar a largo plazo.

7.2.3.4. *Talleres y charlas*

Se realizan talleres y charlas para los estudiantes con un enfoque en la educación ambiental (siguiendo los principios de la sección 5.5.2.). En estas actividades, se les explica qué es la calidad del agua, por qué se instaló el sistema de filtración, sus beneficios y cómo cuidar el filtro, también se fomenta su participación activa promoviendo el cuidado del sistema instalado.

7.2.3.5. *Cartel informativo*

Se diseñó e instaló un cartel informativo para indicar visualmente a los niños y niñas de la escuela cuál es la llave de agua filtrada. Esto facilita la identificación del punto de agua filtrada y fomenta su uso.

7.2.4. Fase 4: Monitoreo y evaluación

La fase de monitoreo y evaluación consiste en evaluar el impacto de la instalación del filtro en la comunidad escolar mediante métodos cualitativos (encuestas) y cuantitativos (análisis de muestras). Se busca monitorear la percepción de la calidad del agua, el funcionamiento del filtro, las oportunidades de mejora y la percepción del cambio en la calidad del agua antes y después de la instalación. Además, se monitorea la variación en la concentración de cloro libre, la conductividad eléctrica (CE), los TDS y el pH del agua.

7.2.4.1. Encuestas

Para evaluar el cambio en la percepción de la calidad del agua en la escuela, se realizan tres encuestas dirigidas a la comunidad escolar, específicamente a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, el director y alumnos de séptimo y octavo básico. Estas encuestas se realizan en tres momentos: antes de instalar el filtro (línea base), al instalarlo recientemente (puesta en marcha) y tres meses después de la instalación (seguimiento). El objetivo de este instrumento es evaluar la percepción de la calidad del agua, el funcionamiento del filtro, el impacto percibido en la comunidad escolar y las oportunidades de mejora.

7.2.4.2. Análisis de muestras

Para monitorear los cambios en los parámetros físicos y químicos del agua, se realizan mediciones de pH, cloro libre, sólidos totales disueltos (TDS) y conductividad eléctrica. El pH se mide tanto en el agua potable directamente como en el agua filtrada utilizando un tester HI 98129 de Hanna Instruments, mientras que el cloro libre se analiza con un fotómetro multiparámetro HI 83300 de la misma marca. Adicionalmente, como dato complementario, ya que, no requerido por normativa, se mide la conductividad eléctrica con el tester HI 98129 para observar posibles variaciones relacionadas con la presencia de sales disueltas u otros compuestos iónicos. Este análisis tiene como objetivo evaluar la eficacia del filtro en la reducción de cloro libre y la estabilidad del pH.

La metodología y las fases metodológicas aplicadas se resumen en el diagrama de la Figura 18.

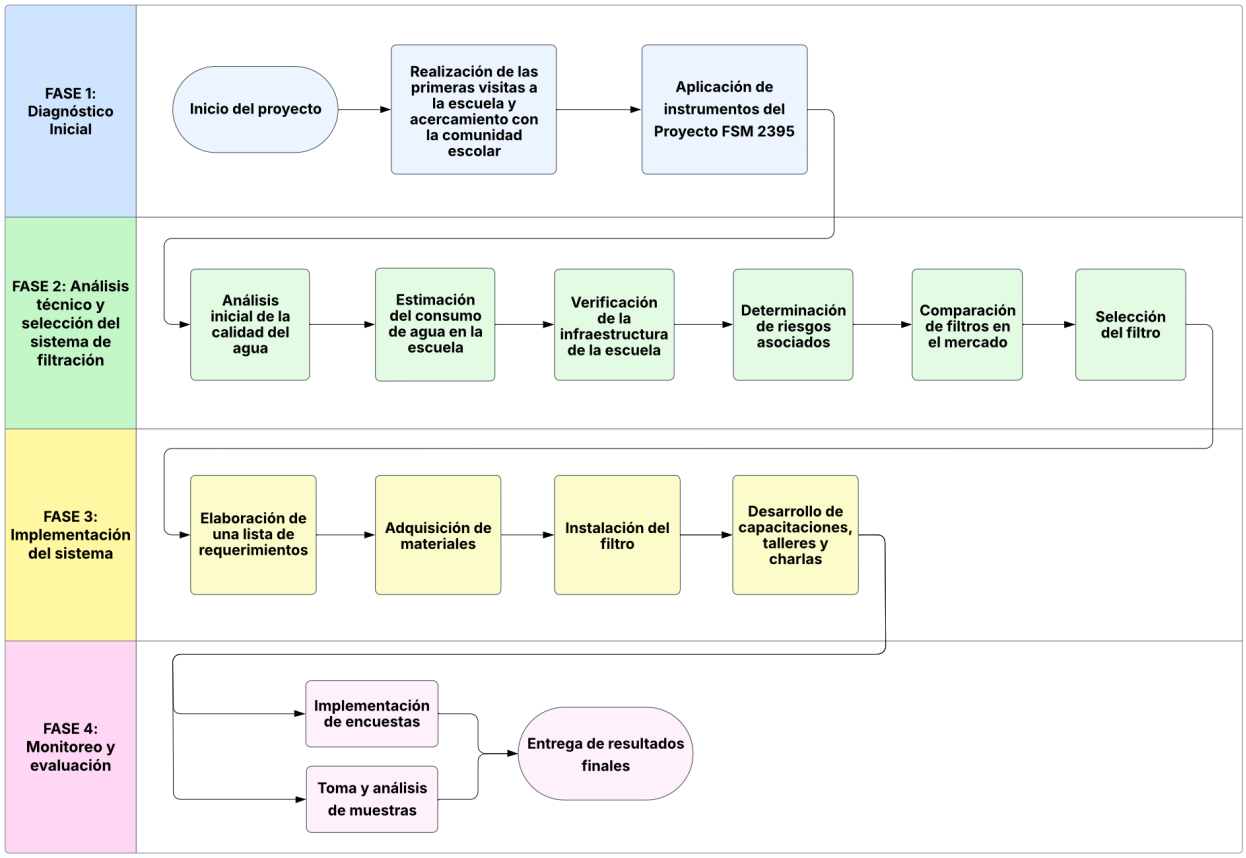


Figura 18. Metodología. Elaboración propia.

EX UMBRA IN SOLEM

7.3. Instrumentos utilizados

La Tabla 6 resume los principales instrumentos utilizados.

Tabla 6. Instrumentos utilizados. Elaboración propia.

Instrumento	**Origen**	**Descripción**
Encuesta de levantamiento técnico	Proyecto FSM 2395	Dirigida al encargado/a del área medioambiental o directivo de la escuela. Recoge información sobre uso y reutilización de agua en la escuela. Considera dimensiones como accesibilidad, calidad, percepción de la calidad y sistemas de reciclaje.
Encuesta de percepción	Proyecto FSM 2395	Aplicada a padres y apoderados de segundo ciclo básico. Las dimensiones incluyeron: contexto, perspectiva de género, procesos de uso y reutilización del agua relación con la escuela y propuestas de mejora.
Entrevista grupal	Proyecto FSM 2395	Dirigida a los encargados del área medioambiental, profesores y asistentes de la educación. El objetivo fue obtener una percepción más completa de cómo la escuela aborda la problemática de escasez hídrica. Se centró en las siguientes dimensiones: contextualización, perspectiva de género, procesos de uso y reutilización de agua, abordaje de la problemática y propuestas.
Ensayo microbiológico	Proyecto FSM 2395	Análisis del agua para detectar coliformes totales y E. coli, utilizando la norma UNE-ISO 9308-2: 2012.
Ensayo microbiológico, químico y fisicoquímico	APR Las Palmas	Recopila los informes de ensayo del agua potable de los últimos tres meses del sector Las Palmas. Los parámetros analizados fueron microbiológicos (coliformes totales, Escherichia coli) y fisicoquímicos (turbiedad, pH, olor, sabor, cloro residual, entre otros), químicos (metales, aniones, entre otros).
Análisis de muestras (pH, cloro libre, TDS y Conductividad Eléctrica)	Elaboración propia	Medición de parámetros físicos y químicos del agua con instrumentos de Hanna Instruments. El objetivo es monitorear los cambios en los parámetros analizados del agua tras la instalación del filtro.
Encuestas de monitoreo	Elaboración propia	Aplicadas a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, el director y estudiantes de séptimo y octavo básico en tres momentos distintos durante la implementación del sistema. Mide la percepción de la calidad del agua, el funcionamiento del filtro, el impacto percibido en la comunidad escolar y las oportunidades de mejora.

8. Resultados

8.1. Diagnóstico inicial

8.1.1. Resultados entrevista grupal

A partir de la entrevista grupal con los encargados del área medioambiental, profesores y asistentes de la educación, se obtuvo información clave para el diagnóstico inicial (este instrumento se encuentra en el Anexo A). En primer lugar, se destaca que la escasez hídrica ha afectado principalmente las actividades de agricultura y ganadería, que eran las actividades económicas principales del sector Las Palmas. Además, se menciona que hay empresarios que consumen grandes volúmenes de agua para la agricultura y que, junto con la creación irregular de pozos, ha afectado la disponibilidad del recurso para los residentes. Por otra parte, el cambio de uso de suelo de agrícola a habitacional ha afectado la infraestructura de servicios básicos, sin embargo, la escuela no se ve tan afectada como el resto de la comunidad por su cercanía con el suministro de agua del APR.

Durante la entrevista, se mencionó que la comunidad ha adoptado prácticas de reutilización de agua, como el uso del agua de la lavadora para regar plantas, el empleo de detergentes biodegradables y la recolección de agua de ducha y lluvia para riego. También se destacó el fuerte enfoque de la escuela en educación ambiental, promoviendo el cuidado del agua y la reducción de residuos. Esto se refleja en el comportamiento responsable y consciente de los estudiantes, que colaboran en la mantención de áreas verdes y en la limpieza de la escuela.

La escuela ha recibido apoyo de entidades externas, como la municipalidad y universidades, que han ofrecido talleres y proyectos relacionados con el cuidado del medioambiente, por ejemplo, la construcción de “casas para insectos” y el manejo de poblaciones de abejas.

En la entrevista se propone la instalación de filtros de agua porque existe desconfianza respecto a la calidad del agua potable, por lo que muchos miembros de la comunidad prefieren el agua embotellada para beber y cocinar. Mencionan que si se instala un filtro de agua podría mejorar la calidad del agua, reducir los costos para las familias y disminuir el uso de plásticos de un solo uso asociados con el agua embotellada.

Finalmente, los entrevistados expresaron la necesidad de contar con más recursos y apoyo tanto del Estado como de entidades privadas para implementar soluciones efectivas, desde iniciativas como la instalación de filtros de agua a otros proyectos mencionados por los entrevistados como

la instalación de aire acondicionado y la creación de una biblioteca. También indican que estos proyectos deben ser sostenibles a largo plazo porque otros proyectos que han llevado a cabo en la escuela no tienen continuidad porque no les enseñan a mantenerlos.

Además, se recalca el rol fundamental que desempeñan docentes y asistentes de la educación en la concientización sobre el uso, la conservación del agua y otras temáticas de educación ambiental, involucrando tanto a estudiantes como a sus familias en este proceso.

8.1.2. Resultados taller participativo

El taller estuvo dirigido a estudiantes de 2.º ciclo básico, específicamente de séptimo y octavo. La estructura de este taller se puede visualizar en el Anexo B. La sesión comenzó con una actividad para conocerse y luego, se contextualizó la problemática de la escasez hídrica, invitando al grupo a compartir las prácticas que llevan a cabo en su vida cotidiana para afrontar esta problemática. Como actividad principal, se invita a los niños, niñas y jóvenes a convertirse en escritores, creando un cuento con la temática: "¿Cómo convivimos los niños y las niñas con el agua en la comunidad?". Al finalizar, se invitó a los estudiantes, de manera paritaria, a compartir sus relatos con el grupo y se les entregó materiales para que pudieran desarrollar en casa un dibujo con la historia que habían escrito.

Los puntos comunes de los cuentos creados fueron los siguientes:

- **Cuidado del medio ambiente y responsabilidad individual:** En varios cuentos se recalca la importancia de proteger el agua y asumir un uso responsable para evitar el desperdicio.
- **Problemas causados por la contaminación:** Se describe cómo la basura y la contaminación en ríos o fuentes de agua afectan tanto a la comunidad como a los ecosistemas.
- **Impacto de la escasez de agua en los animales:** Se muestra preocupación por la deshidratación y muerte de animales debido a la falta de agua.
- **Iniciativas comunitarias y colaboración:** En varios cuentos la solución a la problemática hídrica viene a través de la colaboración y el esfuerzo comunitario.
- **Educación:** Se destaca la importancia de la educación como vía fundamental para lograr cambios de conducta que pueden ayudar a conservar el agua.

Los estudiantes expresaron varias preocupaciones relacionadas con el agua a través de sus cuentos. Una de las principales es la contaminación de los cuerpos de agua, como ríos llenos de basura o el uso excesivo e irresponsable del recurso, ejemplificado en algunos personajes. También se destacó cómo la falta de agua impacta negativamente tanto a los animales salvajes como a los domésticos, lo que genera deshidratación e incluso muerte. Además, algunos cuentos sugieren indirectamente la necesidad de infraestructura adecuada para gestionar el recurso hídrico, mencionando sistemas como filtros o riego tecnificado como posibles soluciones prácticas.

Las soluciones propuestas en los cuentos se basan en la cooperación y la participación comunitaria, ya sea limpiando ríos o buscando nuevas fuentes de agua. También se menciona la educación hacia la comunidad y la implementación de tecnologías como filtros de agua, sistemas de riego eficiente, y tanques de almacenamiento.

8.1.3. Resultados encuesta levantamiento técnico

En la encuesta de levantamiento técnico dirigida a la encargada de medioambiente de la escuela, se indica que la institución cuenta con acceso a agua exclusivamente a través del Sistema de Agua Potable Rural (APR), con disponibilidad las 24 horas del día. El sistema de distribución dentro de la escuela se realiza mediante cañerías, las cuales se encuentran en buen estado.

El suministro está a cargo del Comité de Agua Potable Rural, con quienes no existe mayor contacto, lo que limita el acceso a información sobre la calidad del agua que consumen.

Respecto a la percepción de la calidad del agua se indica lo siguiente:

- Sabor y color: Se considera malo.
- Olor: Se considera regular.
- Presión: Se considera excelente.

Este instrumento está incluido en el Anexo C.

8.1.4. Resultados encuesta de percepción

La encuesta de percepción dirigida a los padres, madres y apoderados de los cursos de segundo ciclo básico fue respondida por nueve apoderados de la escuela. El 100% de los encuestados declaró que su principal fuente de abastecimiento es el Sistema de Agua Potable Rural (APR), mientras que solo un 11% cuenta con una fuente secundaria de suministro de agua.

Los resultados indican que un 56% de los encuestados considera que la zona está siendo afectada por la escasez hídrica, un 33% considera que esta problemática afecta el normal funcionamiento de su hogar y un 77% está de acuerdo o muy de acuerdo con que la escasez de agua afecta negativamente la calidad de vida de las personas en su sector.

Un 11% considera que no cuenta con el agua suficiente para realizar todas las actividades que se requieren para el normal funcionamiento del hogar, un 44% comenta que ha tenido que dejar de realizar actividades que impliquen un gran consumo de agua y un 66% de los encuestados declara que en su hogar existen prácticas que ayudan a reducir el consumo de agua. El detalle completo de los resultados obtenidos de este instrumento se encuentra en el Anexo D.

8.1.5. Síntesis del diagnóstico inicial

A modo de síntesis, los resultados de la entrevista grupal, el taller participativo, las encuestas de levantamiento técnico y las encuestas de percepción señalan la necesidad de mejorar la calidad del agua disponible en la Escuela Básica Las Palmas. Aunque la escuela cuenta con suministro continuo gracias al sistema de APR, tanto docentes como miembros de la comunidad escolar manifiestan desconfianza en el sabor y la calidad del agua, prefiriendo en muchos casos optar por agua embotellada.

Esta percepción negativa del agua potable se ve reforzada por la consideración de que el sabor y el color son “malos” y el olor “regular”, según la encargada medioambiental de la escuela. Además, en varios de los cuentos creados por los estudiantes, se sugiere la implementación de filtros u otras tecnologías como posibles soluciones para afrontar las problemáticas expuestas.

Los participantes de la entrevista grupal hacen hincapié en que los proyectos implementados deben ser sostenibles a largo plazo, pues otras iniciativas desarrolladas en la escuela no han tenido continuidad al no recibir la capacitación o el seguimiento necesarios para su adecuado mantenimiento. De manera general, se identifica un compromiso de la comunidad escolar con la educación ambiental y prácticas responsables de uso de agua. Sin embargo, destacan la falta de información clara y cercana respecto a la calidad real del agua que provee el APR, así como la necesidad de recursos y apoyo externo para la adopción de soluciones más efectivas.

En conclusión, el diagnóstico inicial evidencia que la principal problemática a abordar en la Escuela Las Palmas gira en torno a la percepción negativa de la calidad del agua y la consiguiente tendencia al uso de agua embotellada, lo que, además de generar un gasto extra para las familias, promueve el uso de plásticos de un solo uso. Se refuerza, por tanto, la

pertinencia de un sistema de filtración de agua que sea sostenible y que mejore el sabor y la confianza en el agua potable proveniente de la fuente de abastecimiento de la escuela.

8.2. Análisis técnico y selección del sistema de filtración

8.2.1. Resultados ensayo microbiológico

Se llevó a cabo un análisis microbiológico del agua en la cocina y bebederos de la escuela para determinar la presencia de coliformes totales y Escherichia coli, empleando la metodología UNE-ISO 9308-2:2012. Los resultados indicaron que hay ausencia de contaminación microbiológica, con recuentos de coliformes y E. coli por debajo de los límites de detección establecidos. Los detalles del ensayo se presentan en el Anexo E.

Dado que no se detectó contaminación biológica, el sistema de filtración seleccionado para la escuela no requiere un componente especial para la eliminación de bacterias u otros microorganismos.

8.2.2. Resultados provenientes de la visita al APR de Las Palmas

Como parte del análisis técnico, se llevó a cabo una visita al sistema de APR de Las Palmas, con el fin de conocer las instalaciones y solicitar más información sobre la calidad del agua. Durante la visita, el personal a cargo describió cómo se realiza la captación de agua desde pozos, el tratamiento que se realiza para potabilizarla, y los sistemas de distribución a la comunidad. En la Figura 19 se pueden visualizar las torres de almacenamiento del APR.



Figura 19. Torres de almacenamiento del APR Las Palmas.

Además, se solicitaron los informes de ensayo de agua potable de los últimos tres meses, correspondientes a los muestreos realizados el 28/08/2024, el 12/09/2024 y el 18/10/2024. A continuación, se describen de manera sintetizada los parámetros analizados y los resultados más relevantes (los documentos completos se adjuntan en el Anexo F, G y H):

- Muestreo de agosto (28/08/2024):
    - **Análisis químico completo**: Incluyó metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo total, hierro, manganeso, mercurio, plomo, selenio, zinc, magnesio), aniones (cloruro, fluoruro, sulfatos, nitrato, nitrito, cianuro), y otros compuestos (compuestos fenólicos, amoníaco, sólidos disueltos totales).
    - **Análisis microbiológico**: Coliformes totales y Escherichia coli.
    - **Análisis fisicoquímico**: pH, cloro residual, turbiedad, olor, sabor, temperatura, color verdadero.
- Muestreo de septiembre (12/09/2024):
    - **Análisis microbiológico**: Coliformes totales y Escherichia coli.
    - **Análisis fisicoquímico**: pH, cloro residual, turbiedad, olor, sabor, temperatura, color verdadero.
- Muestreo de octubre (18/10/2024):
    - **Análisis microbiológico**: Coliformes totales y Escherichia coli.
    - **Análisis fisicoquímico**: pH, cloro residual, turbiedad, olor, sabor, temperatura, color verdadero

En general, los parámetros analizados en los tres muestreos se mantuvieron dentro de los rangos establecidos por la norma NCh409/1, la única excepción que se observó fue en el muestreo de octubre, donde la turbiedad alcanzó 2 NTU, valor que coincide con el límite máximo permitido. Estas variaciones puntuales enfatizan la importancia de un monitoreo continuo para asegurar la calidad del agua potable en todo momento.

8.2.3. Estimación del consumo de agua

Para estimar el consumo de agua en la Escuela Las Palmas, primero se consideraron dos datos importantes:

- La escuela tiene 124 estudiantes (prekínder a 8º básico), 15 docentes y 11 asistentes, en total son 150 personas.

- En base a la boleta de consumo de agua entregada por la escuela, su consumo mensual de agua (todas las aplicaciones) es de 64 m^3 (64.000 litros).

Por lo tanto, es necesario estimar la cantidad de agua que se destina para beber**,** dado que gran parte se destina a otros usos como baños, limpieza, riego, etc. Para ello, se considera el consumo per cápita promedio de agua potable que bebe un niño y un adulto por día, aplicado a la población de la escuela.

Diversos estudios indican que la mayor parte del agua en recintos educativos no se destina a beber, sino a otros usos. Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) señala que en instalaciones educativas los principales consumos de agua provienen de baños (inodoros, lavamanos), riego de áreas verdes, sistemas de calefacción/enfriamiento y cocinas de cafetería [60].

Otra fuente indica que en general en los edificios, solo una fracción pequeña del consumo total de agua se utiliza para beber y satisfacer necesidades biológicas y la mayor proporción se emplea en actividades de "conveniencia" como aseo, sanitarios, limpieza, etc. [61]. Un estudio sobre demanda básica de agua mostró que en la sociedad actual el agua para beber es mínima comparada con otros usos domésticos (en hogares con alto consumo, casi toda el agua se usa en riego, baños y limpieza) [61].

Un caso de ejemplo es el de un colegio en Madrid (Colegio Siglo XXI, 380 alumnos), con un consumo anual de 2.656 m^3. Ahí se estimó que alrededor del 38% del agua total correspondía a usos que requieren agua potable (no sustituibles por lluvia), mientras el 62% restante podría ser abastecido con agua no potable (ej. reutilización de lluvia para WC, riego) [62]. Ese 38% incluye el agua de beber, preparación de alimentos y otros usos sanitarios que demandan calidad potable, quedando el resto para sanitarios e infraestructura. Es importante destacar que el consumo exclusivamente para beber es solo una porción de ese 38% (el resto corresponde a lavamanos, limpieza de cocina, etc.).

Por salud, se recomienda a los niños beber en torno a 1 a 1,5 litros de agua al día y a los adultos alrededor de 2 a 2,5 litros diarios [63]. En la práctica, los consumos reales suelen ser menores, especialmente en niños:

- Datos del CDC Nutrition muestran que niños y adolescentes de 2 a 19 años beben en promedio unas 23 onzas de agua pura al día [64]. lo que equivale aproximadamente a 680 mL diarios. Los adultos consumen en promedio 44 onzas (~1,3 litros diarios**)** de

agua [64]. Estas cifras reflejan ingesta total de agua potable (en casa, escuela, trabajo, etc.).

- Un estudio en la zona sur de Chile observó una ingesta diaria muy baja en escolares, donde la media no superó 556 mL/día, y niños con sobrepeso/obesidad bebían menos de 400 mL/día**.** Solo 5% alcanzaba la recomendación nacional, evidenciando que la mayoría bebía bastante menos de lo ideal [65]. Otro estudio realizado en Paraguay indica que en promedio se consume ~0,9 L/día de agua en niños de 10 años, cuando la recomendación para 9-13 años es ~2 L/día [66].
- Otro estudio realizado en 13 países de Asia, Europa y Latinoamérica obtuvo datos de 3611 niños (de 4 a 9 años) y 8109 adolescentes (de 10 a 17 años) de 13 encuestas transversales (47 % varones y 53% mujeres) dio como resultado que la ingesta diaria de agua en esa población es de 738 mL/día [67].

En base a estos datos, se estiman los siguientes valores de consumo de agua:

- **Niños (prekínder a 8º básico, ~ 4 a 13 años):** Tomando el valor más alto de los estudios analizados y sin descontar el consumo que ocurre fuera de la jornada escolar, se asume una ingesta de 0,74 litros de agua por niño al día.
- **Adultos:** Utilizando el valor reportado en el estudio del CDC Nutrition, se considera que los adultos consumen 1,3 litros de agua al día. Aunque este valor comprende el consumo en todos los entornos (hogar, escuela, trabajo, etc.), para la presente estimación se toma el valor total sin descontar la parte que se realiza fuera de la escuela. De este modo, se opta por emplear el valor máximo reportado para garantizar que el sistema de filtración dimensionado pueda cubrir las demandas incluso en situaciones de mayor requerimiento durante la jornada escolar.

Con estas premisas, y suponiendo que hay 20 días escolares efectivos al mes (de lunes a viernes cada semana) se estima el consumo diario y mensual de agua en la escuela, la Tabla 7 resume esta estimación:

Tabla 7. Estimación del consumo diario y mensual de agua en la escuela. Elaboración propia.

Categoría	Número de personas	Consumo diario per cápita (L/día)	Consumo diario total (L/día)	Consumo mensual total (L/mes)
Estudiantes	124	0,74	91,76	1.835,20
Adultos	26	1,30	33,80	676,00
Total	150	-	**125,56**	**2.511,20**

Comparando esa cifra con el total de 64.000 L/mes, obtenemos que el agua para beber es aproximadamente un 4% del consumo total de la escuela.

8.2.4. Infraestructura y determinación de riesgos

El sistema de filtración se proyecta para ser instalado en los bebederos ubicados en el patio de la escuela (ver Figura 20). Estos bebederos tienen tres llaves, cuentan con cañerías de cobre y llaves de bronce tipo jardín. Se encuentran próximos a la cancha de la escuela, en un patio parcialmente techado. En general, los estudiantes utilizan estos bebederos para beber o lavar utensilios usados en clases de arte o tecnología, no para el lavado de manos ya que esto se realiza en los lavamanos dentro de los baños.



Figura 20. Bebederos.

Respecto a los riesgos, debido a la ubicación de los bebederos en el patio, se incrementa el riesgo de que los niños puedan manipular o tocar el sistema de filtración si éste se coloca a una altura demasiado baja. Además, al estar cercano a la cancha, hay que tener en cuenta que puede sufrir golpes por algún juego o actividad que se realice, esto es importante a tener en cuenta para escoger un filtro que sea resistente.

Otro riesgo importante es la exposición a las condiciones ambientales. Aunque el área cuenta con un techo, la incidencia directa del sol puede deteriorar los materiales del filtro.

En resumen, para la selección del filtro y la instalación del sistema se debe tomar en cuenta estas consideraciones de riesgo, escogiendo un filtro se pueda posicionar en la ubicación más

adecuada y que sea resistente ante la posibilidad de golpes o manipulaciones por parte de los niños.

8.2.5. Filtro seleccionado

Los resultados del análisis microbiológico del agua de la escuela confirmaron la ausencia de contaminación biológica, por lo que no es necesario incorporar procesos de desinfección adicionales, por esto que se descartaron tecnologías como lámparas UV o membranas de ultrafiltración diseñadas para inactivar o remover microorganismos. En consecuencia, el filtro seleccionado se centró mejorar las características organolépticas del agua, estas son aquellas propiedades que pueden ser percibidas por los sentidos humanos, es decir, por la vista, el olfato, el gusto y el tacto.

Considerando lo mencionado anteriormente, se optó por un sistema de filtración de tres etapas con cartuchos de carbón activado granular (GAC) de 200 g c/u (marca Osmosystems, modelo de carcasa triple). Esta elección se realizó por las siguientes ventajas:

- **Mejora directamente las características organolépticas del agua:** Esto se debe a que posee una alta adsorción de compuestos orgánicos e inorgánicos responsables de alterar el color, olor y sabor del agua. Estos compuestos incluyen materia orgánica, pesticidas, disolventes, derivados del cloro, trihalometanos, entre otros, que suelen ser los principales responsables de las alteraciones organolépticas. Al remover estos contaminantes, el GAC devuelve al agua sus propiedades deseables: incolora, inodora e insípida, esto mejora su aceptación y calidad para el consumo humano, además, satisface las necesidades de la escuela.
- **Sistema fácil de mantener**: El filtro seleccionado cuenta con tres carcasas estándar de 10" montadas en serie, cada una tiene un cartucho GAC de 200 g. El diseño modular de carcasa triple es transparente, lo que facilita la inspección visual sin necesidad de desarmar el sistema como en el caso de otros filtros disponibles en el mercado. Esto permite verificar el estado de los cartuchos, por ejemplo, si tiene alguna decoloración o sedimentación. Además, los cartuchos se pueden reemplazar individualmente, lo que facilita la mantención y reduce costos a largo plazo al reemplazar solo el cartucho de carbón activado.

- **Altura de instalación ajustable**: El equipo está diseñado para ser instalado a la altura que el usuario prefiera, así se puede evitar que los niños lo manipulen y que además facilite el reemplazo de los cartuchos. Su diseño incluye una carcasa triple con soportes de anclaje para ensamblarlo a la pared, lo que asegura que se pueda adaptar a la infraestructura de la escuela.
- **Disponibilidad local**: Se escogió un producto disponible en el mercado nacional, de una empresa local llamada Osmosystems, lo que garantiza la fácil obtención de repuestos y acceso a soporte técnico. Además, al tratarse de un modelo comercial estándar, los repuestos están disponibles en diversas tiendas, lo que asegura la continuidad y sostenibilidad del sistema a largo plazo.

8.2.5.1 Descripción del equipo

El filtro implementado consiste en un sistema de filtración de tres etapas conectadas en serie, utilizando una carcasa triple transparente de la marca Osmosystems. En cada etapa se colocó un cartucho de carbón activado granular de 10" de 200 g.

La carcasa triple está hecha de plástico transparente (PET) y cuenta con una conexión estándar de 3/4" en bronce [68]. El agua entra por la primera etapa y pasa de forma secuencial por los tres cartuchos de carbón activado, lo que permite un mayor tiempo de contacto con el medio filtrante y, por lo tanto, una mejor eliminación de contaminantes.

En la Figura 21 se muestra un diagrama de la carcasa instalada, con la vista principal a la izquierda y a la derecha del diagrama se puede observar la vista lateral, las dimensiones son las siguientes [69]:

- A = 315 mm
- B = 420 mm
- C = 130 mm

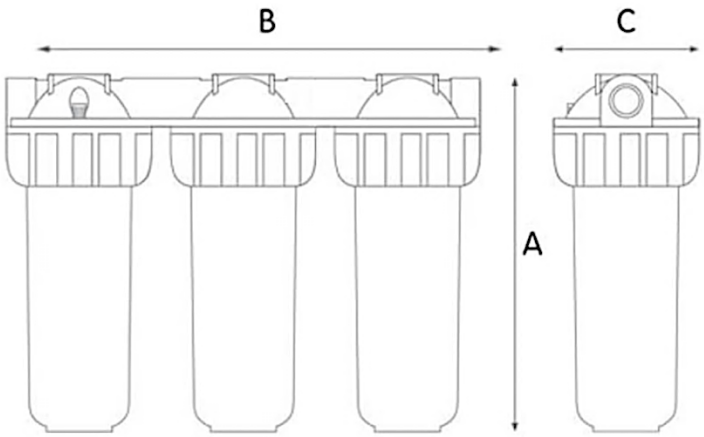


Figura 21. Diagrama de la carcasa instalada. Fuente: Water Concept (s.f).

Y en la Figura 22 se presenta una recopilación de imagenes con la carcasa instalada, el filtro de GAC utilizado y la llave plástica que facilita la apertura de las carcasas para el recambio de repuestos [68].



Figura 22. Carcasa, filtro GAC y llave de apertura. Fuente: Elaboración propia a partir de OsmoSystems.

Las principales características técnicas son las siguientes:

- **Características de la carcasa:** Es una carcasa de Polietileno Tereftalato (PET) transparente de alta resistencia. Cada carcasa es compatible con cartuchos estándar de 2,7" x 10" (diámetro x longitud), lo que permite emplear una amplia gama de cartuchos de repuesto. Viene equipada con un soporte metálico y conexiones de 3/4" en bronce para la entrada y salida [68].

- **Parámetros de operación:** Presión de trabajo entre 8 y 125 psi (0,55 a 8,79 bar), acorde a la presión típica de la red pública. Temperatura de servicio entre 1 °C y 48 °C, no se debe exceder este rango para evitar daños al material [68].
- **Mantenimiento:** El sistema incluye accesorios para facilitar el mantenimiento, como una llave plástica de apertura de carcasas Los cartuchos GAC de 10" son intercambiables desenroscando las carcasas con la llave suministrada, sin necesidad de sacar el soporte, este es un procedimiento sencillo que puede realizarse in-situ tras cerrar el paso de agua [68].

8.3. Implementación del sistema

8.3.1. Lista de requerimientos

La lista de requerimientos para la implementación del sistema de filtración tiene el objetivo de asegurar que todos los materiales necesarios para la instalación estuvieran disponibles, incluyendo aquellos para el sistema de filtración principal y los repuestos (para el funcionamiento a largo plazo). Entre los materiales se incluyen dos carcasas triples con filtros de carbón activado granular (GAC) de 10" y los recambios de cartuchos de carbón, también los materiales y repuestos necesarios para la instalación o averías, como cañerías, llaves de paso, codos, abrazaderas y teflón.

De los materiales adquiridos, una de las carcasas triples se dejó como repuesto junto con otros componentes, como válvulas y conexiones adicionales. Estos requerimientos se solicitan a los coordinadores del Proyecto FSM 2395 y aseguran que el sistema pueda mantenerse operando durante los próximos años, sin la necesidad de que la escuela adquiera nuevos materiales. Además, como consideración económica, al llegar al término del periodo de recambio de cartuchos financiado por el proyecto, es importante tener en cuenta que, con el valor actual de los recambios (CLP 9.990) y considerando la cantidad de alumnos actuales (124), cada apoderado debería aportar aproximadamente CLP 725 al año si se quisiera continuar con la compra de los cartuchos de filtro, esto se calcula en base al resultado de la frecuencia de recambios de la Sección “Capacitaciones”, la estimación considerando la inflación se presenta en la Tabla 11.

En la siguiente tabla, se presenta un resumen de los materiales adquiridos:

Tabla 8. Materiales requeridos. Elaboración propia.

Material	**Descripción**	**Cantidad**
Carcasa Triple Porta Filtro	Carcasa transparente con conexión de 3/4" de bronce para filtros 2.7" x 10".	2 [ud]
Recambio de carbón activado	Filtro de carbón activado granular GAC/UDF 10".	30 [ud]
Reducción de cobre	Reducción de cobre de 1/2" a 3/4".	8 [ud]
Cañería de cobre	Cañería de 1/2" x 3 m.	1 [ud]
Codos de cobre	Codos de 1/2" de cobre	5 [ud]
Coplas de cobre	Copla de cobre 1/2"	2 [ud]
Llave de paso de cobre	Llave de paso 1/2" de cobre	4 [ud]
TEE de cobre	TEE 1/2" de cobre	5 [ud]
Llave de paso cobre	Llave de paso 1/2" cobre	2 [ud]
Soldadura de estaño	Soldadura 50% estaños carrete	500 [g]
Abrazaderas de tubería	Abrazadera de cobre 1/2"	12 [ud]
Terminal	Terminal De Cobre 3/4" He - para agua	5 [ud]
Terminal	Terminal De PVC 3/4" Hi - para agua	5 [ud]
Teflón	Teflón para agua	2 [ud]
Llave de paso PVC	Llave de paso 1/2" PVC	4 [ud]
Niple	Niple Bronce HE/HE 3/4"	5 [ud]
Flexibles	Flexible HI/HI 3/4" x 20 [cm]	4 [ud]
Codos de PVC	Codos 3/4" PVC	13 [ud]
Tubería PVC	Tubería de PVC 3/4 3m	1 [ud]
Terminal	Terminal De PVC 3/4" He - para agua	5 [ud]
Abrazaderas de tubería	Abrazadera de PVC 3/4"	20 [ud]
Adhesivo para PVC	VINILIT Adhesivo para PVC 60 CC	6 [ud]

EX UMBRA IN SOLEM

Respecto a los costos, la Tabla 9 presenta el detalle de la inversión inicial, que incluye todos los materiales necesarios según la lista de requerimientos para la instalación del sistema, así como repuestos destinados a asegurar el funcionamiento a largo plazo, agrupados en el ítem "Materiales", las carcasas y los recambios GAC no se incluyen en esta sección, ya que se analizan por separado en la misma tabla.

Por otro lado, en la Tabla 10 se muestra el costo anual de operación calculado con los precios actuales (2025), correspondiente a los recambios de filtro GAC. Finalmente, la Tabla 11 estima el costo anual de operación a partir del año 2028, incorporando un ajuste por inflación del 4% anual para reflejar una proyección más realista de los gastos futuros.

Tabla 9. Costos de inversión inicial. Elaboración propia.

Inversión inicial			
Ítem	**Cantidad**	**Costo unitario (CLP)**	**Costo total (CLP)**
Materiales	-	-	195.592
Instalación	1	20.000	20.000
Carcasas	2	42.008	84.016
Recambios GAC	30	9.990	299.700
Total inversión inicial			**599.308**

Tabla 10. Costo anual de operación. Elaboración propia.

Costo anual de operación			
Ítem	**Cantidad**	**Costo unitario (CLP)**	**Costo total (CLP)**
Reecambios GAC	9	9.990	89.910

Tabla 11. Costo anual de operación considerando un 4% de inflación. Elaboración propia.

Costo anual de operación (a partir de 2028) considerando un 4% de inflación	
Año	**Costo total (CLP)**
2028	101.137
2029	105.182
2030	109.390
2031	113.765
2032	118.316

8.3.2. Instalación del equipo

Para la instalación, se tuvo que adaptar el filtro al espacio disponible en los bebederos, se descartó instalar el sistema próximo al suelo porque podía recibir golpes o manipulación por parte de los niños, y además no se contaba con el especio suficiente. Finalmente, el sistema fue instalado a aproximadamente 1,9 metros del suelo (desde la parte superior de la carcasa), entre la segunda y tercera llave (contando de izquierda a derecha) del bebedero.

En la Figura 23 se presenta un diagrama del sistema de filtración instalado y en la Figura 24 se puede visualizar una imagen del sistema instalado en la escuela. El sistema incluye los siguientes componentes:

- La carcasa triple con los filtros de carbón activado.
- Dos flexibles que conectan la carcasa con las tuberías de PVC que van a las llaves de los bebederos.
- La segunda llave del bebedero corresponde a la válvula V-2 y la tercera llave del bebedero corresponde a la válvula V-3.
- Una válvula de bola (V-4) que regula el paso del agua no filtrada desde la cañería correspondiente a la tercera llave hasta el filtro.
- Válvula de globo (V-1) que encuentra debajo de la segunda llave (V-2), y su función es cerrar el paso de agua no filtrada. Esto asegura que solo el agua filtrada pase por esta segunda llave. Esta válvula se encuentra sin la manija para que quede fija.

En base a lo anterior, el recorrido del agua es el siguiente:

- Primero, el agua que proviene de la cañería correspondiente a la tercera llave (entrada de agua potable) pasa por la válvula de bola V-4, la cual regula su paso hacia el filtro.
- Luego, el agua sube hasta la carcasa del filtro, donde pasa a través de los cartuchos de carbón activado que realizan el proceso de adsorción.
- Finalmente, el agua filtrada llega a través de la segunda llave (V-2).

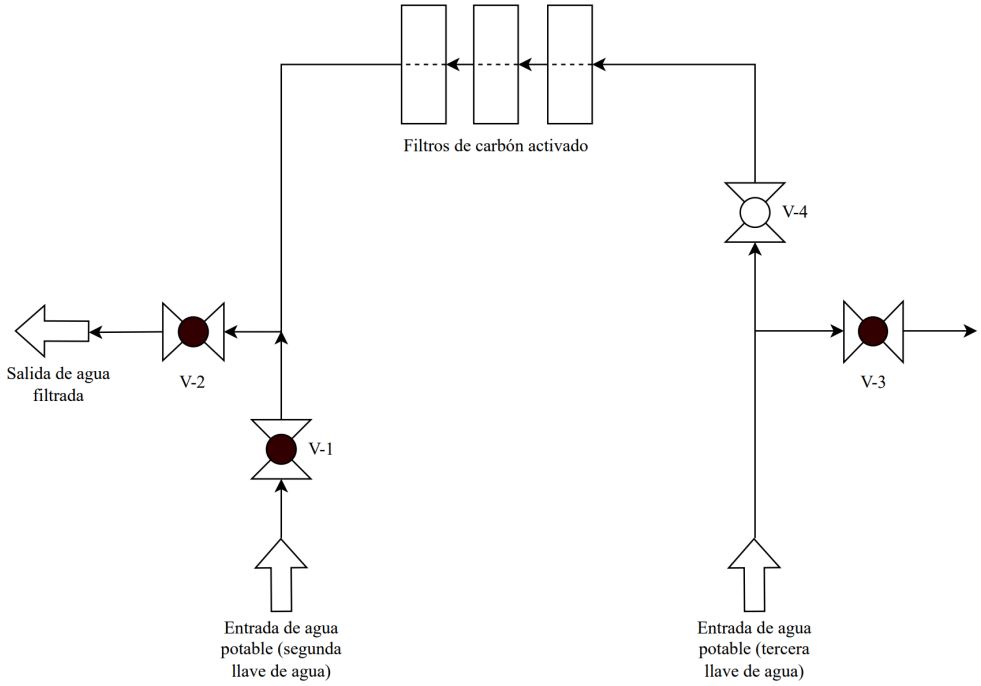


Figura 23. Diagrama del sistema de filtración de agua. Elaboración propia.



Figura 24. Sistema de filtración de agua instalado en la escuela.

8.3.3. Capacitaciones, talleres, charlas y recursos adicionales

8.3.3.1. Charlas

Se realizaron charlas con un enfoque en educación ambiental dirigidos a los cursos sexto, séptimo y octavo básico. El propósito de la charla fue dar a conocer el sistema de filtración instalado en la escuela y contextualizar sobre el tema. Durante las

charlas, se explicó en qué consiste la calidad del agua y por qué se instaló un sistema de filtración en la escuela.

Además, se presentó un material visual donde se ilustró el recorrido del agua, desde que el agua proviene de ríos o fuentes subterráneas, luego, cómo pasa por el pozo del APR (u otras fuentes en el caso de ciudades) y llega finalmente hasta la escuela. Estas imágenes ayudaron a que los estudiantes comprendieran mejor el proceso del agua antes de ser filtrada y distribuida a los bebederos de la escuela.

En las charlas también se mencionaron los beneficios del sistema de filtración, en específico, cómo este contribuye a mejorar la calidad del agua potable y su funcionamiento. Finalmente, se les explicó cómo cuidar el filtro, detallando el mantenimiento básico que debe hacerse para garantizar su funcionamiento adecuado. A lo largo de la charla, los estudiantes participaron activamente, haciendo preguntas y mostrando interés en la actividad.

8.3.3.2. Talleres

Luego de las charlas, se llevó a cabo un taller práctico dirigido a los mismos cursos (sexto, séptimo y octavo básico). Este taller tuvo un enfoque en el cuidado del filtro, buscando que los estudiantes comprendieran la importancia de mantener el sistema en buen estado para asegurar su correcto funcionamiento a largo plazo. Para ello, se proporcionaron materiales como plumones y hojas de block. El taller consistió en dividir a los alumnos en grupos, cada grupo creó un afiche relacionado a la importancia de cuidar el filtro de agua.

Durante el proceso, los estudiantes se involucraron activamente en la elaboración de los afiches, discutiendo entre ellos las mejores formas de transmitir los mensajes. Los resultados fueron positivos, ya que muchos de los afiches mostraron ideas creativas y un alto nivel de comprensión sobre tema tratado.

Luego, los afiches fueron presentados ante el curso por cada grupo, en el Anexo I se presenta una recopilación con algunos de los afiches creados por los estudiantes.

8.3.3.3. Capacitaciones

Se realizaron capacitaciones dirigidas a la comunidad escolar para asegurar su operación a largo plazo. Primero, se llevó a cabo una capacitación breve presencial dirigida al director y a una auxiliar de la escuela, donde se explicó el funcionamiento

del filtro, cómo realizar los recambios de los cartuchos, las fechas de recambio y los cuidados principales del sistema.

Además, se realizó una capacitación más amplia de forma virtual mediante un video para todos los profesores, asistentes de la educación y auxiliares, incluyendo a los encargados del mantenimiento del filtro. En esta capacitación, se explicó con más detalle el funcionamiento del sistema instalado, los componentes principales, cómo realizar los recambios de los filtros, cada cuánto tiempo realizar los recambios, qué hacer en caso de fallas del sistema y los materiales de repuesto disponibles. El objetivo fue asegurar que todos los miembros de la comunidad escolar estuvieran informados sobre el sistema para garantizar su mantenimiento adecuado a largo plazo. Algunos de los temas abordados en las capacitaciones, se explican a continuación con más detalle.

Procedimiento para realizar los recambios

Para realizar el recambio de los filtros (ver Figura 23) primero se debe cerrar la válvula de bola (V-4) que está antes del filtro para evitar que el agua pase hacia el sistema, se baja la presión del sistema aflojando los tornillos superiores ubicados en la carcasa, luego, con la llave de apertura, se abren las tres partes de la carcasa y se lavan. Después, se colocan los tres recambios de carbón activado dentro de la carcasa, asegurándose de retirar el envoltorio y posicionarlos correctamente. Se cierra firmemente la carcasa con la llave, nuevamente de elimina el exceso de aire, y finalmente se abre la válvula de bola para restaurar el flujo de agua.

Frecuencia de recambios

La eficiencia de filtración del GAC se puede expresar en términos de la cantidad de contaminantes removidos por gramo de carbón, aunque los valores específicos dependen del tipo de contaminante, las condiciones del agua y el diseño del filtro. Según un estudio realizado con carbón activado granular elaborado a partir de cáscara de coco, se evaluaron filtros con diferentes cantidades de carbón (25 g, 50 g y 100 g) para tratar 1 litro de agua contaminada, los resultados mostraron que todos los tratamientos remueven los contaminantes, pero el que tuvo mayor eficiencia de remoción fue el tratamiento con mayor cantidad de carbón activado, el filtro con 100 g de carbón activado granular alcanzó una eficiencia de remoción de contaminantes

totales de hasta 75.68%, con remociones específicas de cloro libre residual del 100% [46].

La capacidad de adsorción del carbón activado granular depende del contaminante específico y las condiciones operativas. De acuerdo con especificaciones técnicas, un cartucho granular estándar de 10" x 2,5" tiene una capacidad de purificación de agua de la red municipal de 10.000 litros [71]. Basado en el consumo estimado de agua potable en la escuela (aproximadamente 2.511 L/mes, ver Sección 8.2.3), se estimó que la periodicidad de reemplazo de los cartuchos GAC es cada 4 meses. En el Anexo J se presenta el calendario de recambios de los cartuchos en la escuela, el cual contempla los recambios disponibles proporcionados por el proyecto, con una duración estimada hasta finales del año 2027.

Procedimientos ante fallas del filtro

En caso de que el filtro se dañe (ver Figura 23), el primer paso es cerrar la válvula de bola (V-4) para detener el paso de agua no filtrada hacia el sistema. Luego, se abre la válvula de globo (V-1) con la manija que se encuentra en la caja de herramientas, permitiendo que la segunda llave (V-2), que anteriormente recibía agua filtrada, comience a recibir agua directamente sin filtrar. Esto permitirá continuar con el suministro de agua a la escuela mientras se realizan las reparaciones del filtro, utilizando los materiales de repuesto disponibles. La reparación se debe llevar a cabo fuera del horario escolar para poder cortar el agua.

8.3.3.4. Cartel informativo

Además, se diseñó un cartel informativo para ayudar a los estudiantes a identificar correctamente cuál es la llave con agua filtrada. Esto fue importante porque, debido a que el filtro se encuentra conectado mediante tuberías a dos llaves diferentes, puede generar confusiones. El cartel es simple y visualmente atractivo, permitiendo que los niños, niñas y jóvenes sepan cuál es la llave que proporciona agua filtrada. Este cartel también se adjunta en el Anexo K.

8.4. Monitoreo y evaluación

8.4.1. Resultados de encuestas aplicadas

Con el objetivo de medir cualitativamente el impacto del sistema de filtración instalado y la percepción de la comunidad escolar sobre este, se aplicaron tres encuestas en momentos clave:

- **Encuesta 1 (Línea base):** se realiza el 07 de noviembre de 2024, antes de la instalación.
- **Encuesta 2 (Puesta en marcha):** se realiza el 29 de noviembre de 2024, al instalar recientemente el filtro.
- **Encuesta 3 (Seguimiento)**: se realiza el 20 de marzo de 2024, después de tres meses de la instalación.

Las encuestas se elaboraron en formato Likert de cinco puntos y fueron dirigidas a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, el director y estudiantes de séptimo y octavo básico (ver Anexos L, M y N). Las preguntas se agruparon en cuatro bloques:

- Percepción de la calidad del agua.
- Confianza y seguridad.
- Satisfacción.
- Funcionamiento del filtro.

En las encuestas se obtuvo un rango de 24 a 26 respuestas (ver Anexo O), donde la primera y la segunda tuvieron 24 respuestas (14 de estudiantes y 8 del resto de los encuestados) y la tercera encuesta tuvo 26 respuestas (18 de estudiantes y 8 del resto de los encuestados), lo que permite comparar los resultados con buena representatividad. Los resultados se muestran en la Figura 25, 26 y 27.

En la primera encuesta, un 36% de los encuestados manifiesta no estar satisfecho con la calidad del agua en la escuela (ya sea “muy en desacuerdo” o “en desacuerdo”), un 32% responde no sentirse seguro bebiendo agua directamente del bebedero, además, más del 40% de los encuestados indica que el sabor del agua que consume en la escuela no es agradable. Los comentarios escritos en las respuestas de esta encuesta son los siguientes:

- "El agua disponible de los bebederos no tiene un sabor rico"
- "Comúnmente consumo muy poco el agua de la escuela"

A los pocos días de la instalación se llevó a cabo la segunda encuesta, en la que se nota una tendencia positiva en las respuestas, el 68% de los encuestados se siente más seguro y confiado

al beber agua del bebedero conectado al filtro, además, el 91% de los encuestados percibe una mejora en el sabor del agua que proviene de la llave conectada al filtro, alrededor del 73% indica estar satisfecho/a con la calidad del agua que se obtiene de la llave conectada al filtro, un 68% cree que la instalación del filtro ha mejorado la calidad del agua en la escuela, además, un 81% responde que el sabor del agua filtrada es agradable y la mayoría de los encuestados no percibe olores o sabores extraños en el agua filtrada. Algunos de los comentarios de esta encuesta son:

- "En general el agua ha mejorado mucho"
- "Desde la instalación del filtro se observan cambios en el sabor del agua y además se tiene más confianza al beber del agua que sale de las llaves del bebedero"
- "Se agradece la instalación de los filtros, ahora podemos confiar en la buena calidad del agua que consumimos"

En la última encuesta también están las preguntas con el mismo enfoque anterior y se suman preguntas relacionadas al funcionamiento del filtro. El porcentaje de los encuestados que se siente más seguro y confiado al beber agua del bebedero conectado al filtro aumenta a un 88%. Un 85% indica estar satisfecho/a con la calidad del agua que se obtiene de la llave conectada al filtro, cerca de un 81% cree que la instalación del filtro ha mejorado la calidad de agua en la escuela y que el sabor es agradable. Respecto al funcionamiento del filtro, un 81% de los encuestados indica que el filtro ha funcionado de manera adecuada durante estos tres meses y un 85% recomendaría continuar utilizando este sistema de filtración en la escuela (el resto está “ni de acuerdo ni en desacuerdo”). Por último, un 81% de los encuestados cree que el filtro ha tenido un impacto positivo en la escuela. Los comentarios escritos en las respuestas de esta encuesta son los siguientes:

- "Gracias por el filtro que nos ayudó mucho"
- "Intentar poner más filtros en el colegio y en otros colegios ya que puede ayudar a todas las personas en su salud y no contaminar nuestro cuerpo"

En general, los resultados de las encuestas muestran una evolución positiva en la percepción de la calidad del agua en la escuela tras la instalación del filtro de carbón activado. Inicialmente, muchos encuestados manifestaban insatisfacción con el sabor y la seguridad del agua proveniente de los bebederos, lo que se reflejaba en un bajo consumo y comentarios negativos. Sin embargo, después de la instalación del filtro, se observó un aumento significativo en la confianza y satisfacción de los encuestados al beber agua directamente del bebedero,

destacándose una mejora notable en el sabor. Ya en la tercera encuesta, esta percepción favorable se consolidó, además, se evidenció una valoración positiva sobre el funcionamiento del filtro y la recomendación de mantener el sistema. En conjunto, los resultados evidencian que el filtro ha tenido un impacto positivo en percepción de la calidad del agua de quienes la consumen.

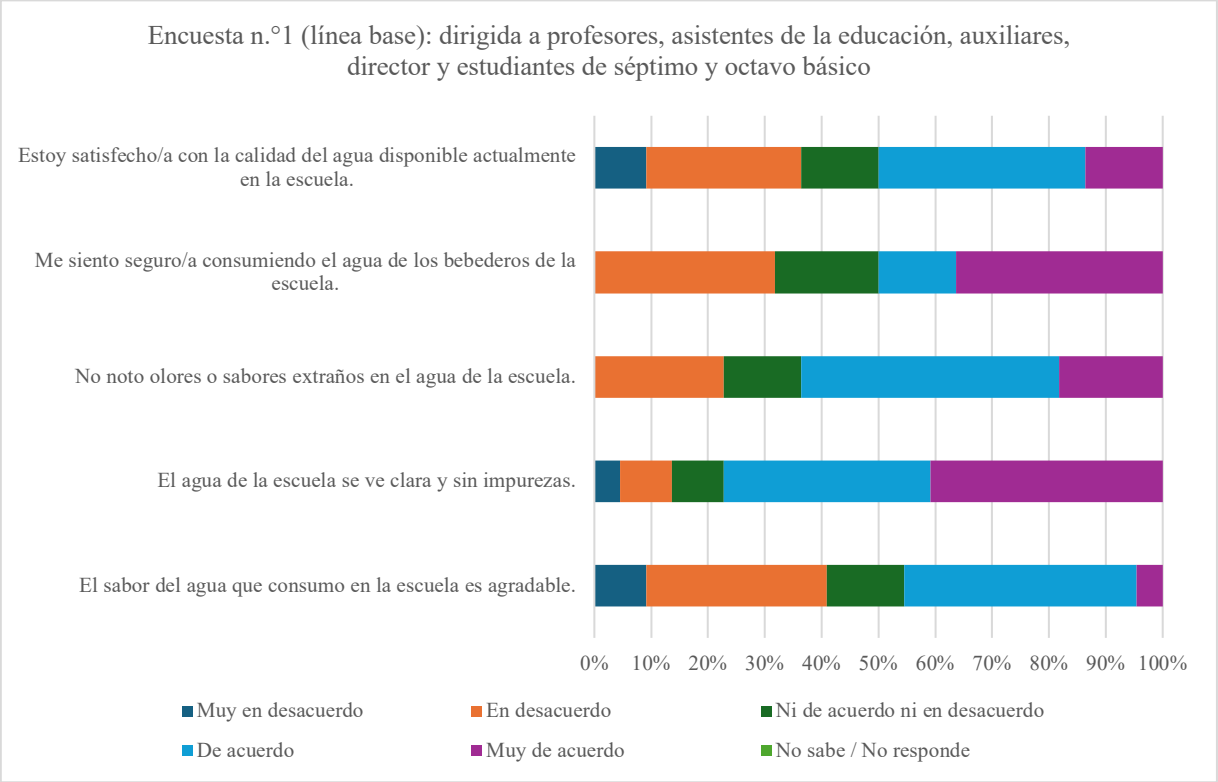


Figura 25. Resultados encuesta n.°1: dirigida a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, director y estudiantes de séptimo y octavo básico.

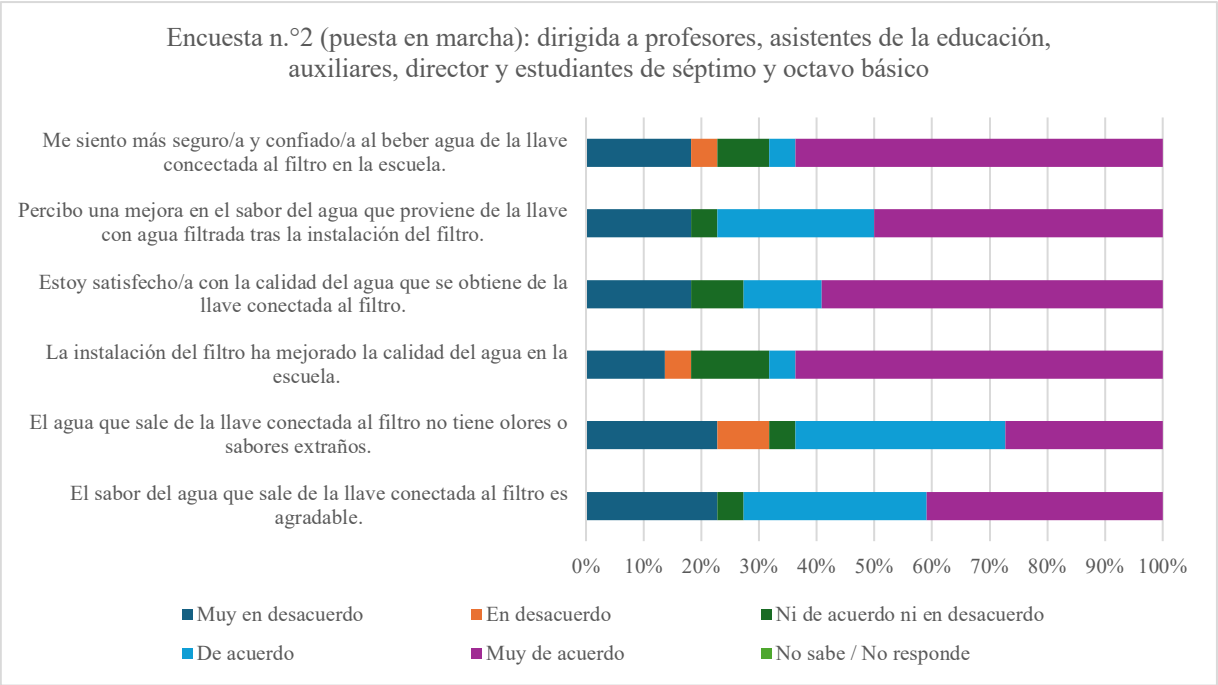


Figura 26. Resultados encuesta n.°2 dirigida a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, director y estudiantes de séptimo y octavo básico.

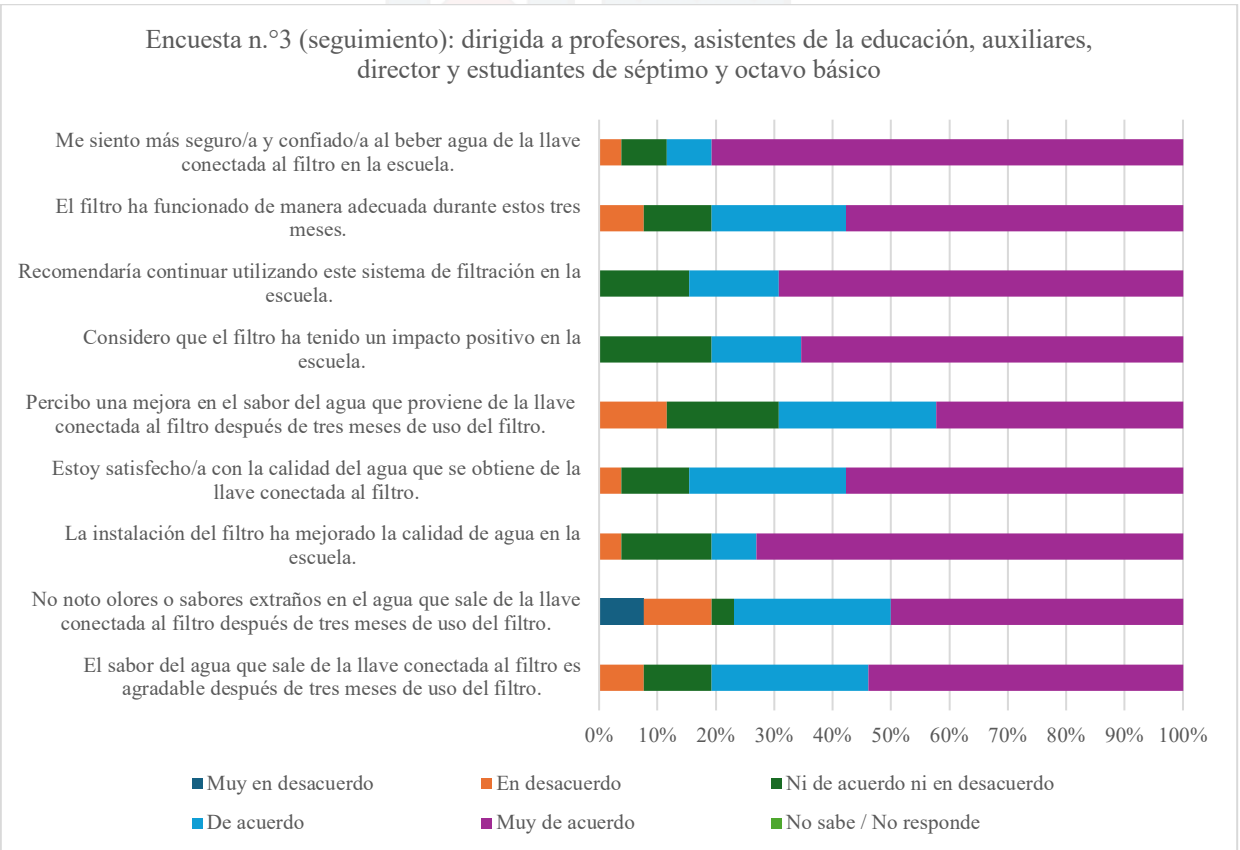


Figura 27. Resultados encuesta n.°3: Dirigida a profesores, asistentes de la educación, auxiliares, director y estudiantes de séptimo y octavo básico.

8.4.1.1. Comparación de resultados de encuestas por grupos participantes

Se analizaron las encuestas separando a los participantes dividiéndolos en dos grupos: por un lado, el grupo conformado por profesores, asistentes de la educación, auxiliares y el director; y por otro, el grupo de estudiantes. Los resultados de las encuestas para cada grupo se presentan en los Anexos P y Q.

Las principales diferencias en la encuesta de línea base, el segundo grupo (estudiantes) mostró mayor satisfacción con la calidad del agua y una percepción más positiva en comparación con el primer grupo. Por ejemplo, en la pregunta sobre la satisfacción con el agua disponible en la escuela, el 63% del primer grupo manifestó estar “en desacuerdo”, mientras que solo alrededor del 21% de los estudiantes estuvo “en desacuerdo” o “muy en desacuerdo”. De manera similar, en la pregunta sobre la seguridad percibida al consumir agua de los bebederos de la escuela, el 50% del primer grupo estuvo “en desacuerdo”, frente a un 21% de estudiantes con la misma postura.

En la segunda encuesta, realizada tras la instalación del filtro, aunque ambos grupos mejoraron su percepción sobre la calidad del agua, el primer grupo mostró una mejora más significativa. Por ejemplo, en la pregunta sobre si el filtro había mejorado la calidad del agua en la escuela, el 88% del primer grupo estuvo "muy de acuerdo", mientras que solo el 50% de los estudiantes manifestó la misma opinión.

Finalmente, en la tercera encuesta, ambos grupos se mostraron mayoritariamente "de acuerdo" en todos los ítems. Sin embargo, se observa que el primer grupo tiende a respuestas más positivas, mientras que, en el segundo grupo, aunque la mayoría respondió "de acuerdo" o "muy de acuerdo", existe un porcentaje de estudiantes que adoptó una postura neutral ("ni de acuerdo ni en desacuerdo") en cada pregunta.

8.4.2. Resultados de los análisis de muestras de agua

Se toman cuatro muestras de agua dos semanas después de efectuar el recambio de los tres cartuchos de carbón activado, dos de las muestras se toman en el agua potable sin el filtro y las otras dos se toman para el agua potable con el filtro. Los parámetros que se analizan son el pH, la conductividad eléctrica (CE), los sólidos totales disueltos (TDS) y el cloro libre. Se utilizan los siguientes instrumentos de medición:

- **pH, CE y TDS**: Se miden con un tester HI 98129 (Hanna Instruments).
- **Cloro libre**: Se miden con un fotómetro multiparámetro HI 83300 (Hanna Instruments). Para observar la variación en la concentración de cloro libre, la cual se refleja en el cambio de color de la muestra debido a la reacción del cloro libre con el reactivo HI 93701-0, ver el Anexo R.

El resumen de los resultados se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 12. Efecto del filtro (GAC) sobre los parámetros analizados. Elaboración propia.

Parámetro	**Agua potable sin filtro**	**Agua potable con filtro**	**Reducción (%)**
Cloro libre [mg L^{-1}]	0,31	0,03	-90,32
pH [–]	7,63	7,35	-3,67
CE [µS cm^{-1}]	1087	994	-8,56
TDS [ppm]	544	497	-8,64

Si comparamos los valores obtenidos con lo establecido en la norma chilena NCh410/1, se observa que todos los parámetros analizados cumplen con los valores exigidos, tanto el agua potable sin el filtro como con el filtro. En el caso del cloro libre, la normativa exige valores entre 0,2 y 2 mg L^{-1}, el agua sin filtrar ya se encuentra dentro de ese rango, pero el paso por el filtro reduce la concentración a 0,03 mg L^{-1}, lo que implica una disminución cercana al 90 %, esto mejora significativamente la calidad del agua y sus parámetros organolépticos, como sabor y olor.

En cuanto al pH, la norma establece un rango aceptable entre 6,5 y 8,5. Los valores obtenidos se encuentran dentro de este intervalo, aunque se observa una disminución de un 3,7 %, esto ocurre por la presencia de grupos funcionales ácidos en la superficie del carbón activado y las interacciones químicas que ocurren durante la adsorción. Según estudios, cuando el carbón activado entra en contacto con el agua, los grupos ácidos superficiales liberan iones hidronio (H^+) a la solución, lo que incrementa la concentración de estos iones y, por ende, reduce el pH del agua [72].

Respecto a los sólidos totales disueltos (TDS), la norma establece un límite máximo de 1500 mg L^{-1}, y ambos valores medidos cumplen. El filtro logra una reducción del 8,64 % en los TDS. Además, la conductividad eléctrica del agua se reduce en un 8,56 %. La conductividad eléctrica está relacionada con la concentración de iones disueltos que pueden transportar carga eléctrica. Los filtros de carbón activado adsorben ciertos iones y moléculas disueltas que contribuyen a la

conductividad. Aunque la norma NCh410/1 no define un valor límite para la conductividad, esta está directamente relacionada con los TDS, ya que estos últimos representan la suma acumulativa de cationes y aniones presentes en el agua. Los contaminantes que forman parte de los TDS incluyen compuestos iónicos derivados de minerales y sales comunes en el agua potable, y estos iones son los principales responsables de la conductividad. Por ello, la reducción en la conductividad eléctrica observada en las muestras es coherente con la disminución de los TDS.

En conjunto, todos los parámetros medidos cumplen con la norma chilena que regula los estándares de calidad del agua potable, tanto en el agua sin filtrar como en el agua tratada con el filtro. Sin embargo, el uso del filtro genera cambios y mejoras en los parámetros, destacándose la reducción del cloro libre en un 90 %.

8.4.2.1. Balance de masa y remoción del cloro libre

Las muestras se tomaron 15 días después del recambio de cartuchos (tres cartuchos de 200 [g] cada uno, 600 [g] de GAC en total). De la sección 8.2.3. se establece que mensualmente la escuela consume aproximadamente 2511 litros de agua del bebedero conectado al filtro, esto implica que durante 15 días se consumen cerca de 1256 litros de agua del bebedero conectado al filtro (la mitad del consumo mensual estimado). Con la concentración de cloro obtenida se elaboró el balance de masa mostrado en la Figura 28.

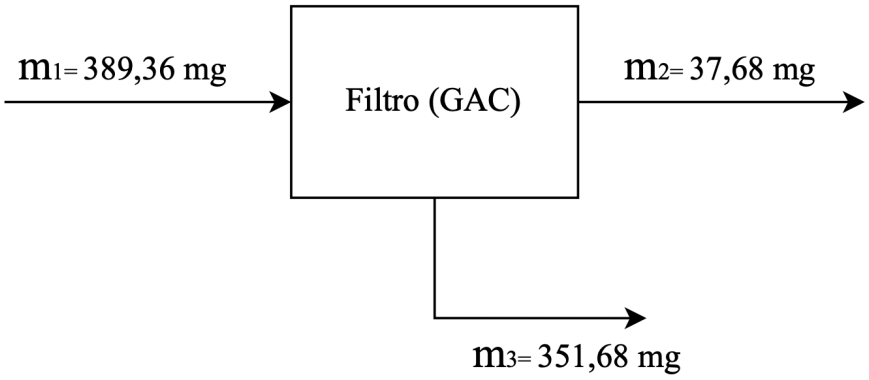


Figura 28. Balance de masa para el cloro libre a los 15 días del recambio. Elaboración propia.

También se calculan otros parámetros de interés, como la capacidad utilizada del carbón activado desde cuando se realizó el recambio de los cartuchos hasta el día de la medición, este parámetro se calcula de la siguiente forma:

$$Capacidad\ utilizada\ en\ 15\ días = \frac{351{,}68\ [mg]}{600\ [g]} = 0{,}59\ \left[\frac{mg}{g}\right]$$

Esto indica que cada gramo de carbón adsorbió aproximadamente 0,586 mg de cloro libre en 15 días.

Además, se calcula la masa diaria removida de cloro libre:

$$Cloro\ libre\ removido\ diariamente = \frac{351{,}68\ [mg]}{15\ [días]} = 23{,}45\ \left[\frac{mg}{día}\right]$$

La siguiente tabla presenta los cálculos realizados:

Tabla 13. Datos de remoción del cloro libre. Elaboración propia.

Parámetro	**Valor**
Tiempo desde que se realizó el último recambio [días]	15
Volumen tratado en 15 días [L]	1256
Concentración cloro libre en agua potable sin filtro [mg/L]	0,31
Concentración cloro libre en agua potable con filtro [mg/L]	0,03
Masa de cloro libre antes del filtro [mg]	389,36
Masa de cloro libre después del filtro [mg]	37,68
Masa de cloro libre retenida por el filtro [mg]	351,68
Masa total de GAC [g]	600
Capacidad utilizada en 15 días [mg/g]	0,59
Cloro libre removido diariamente [mg/día]	23,45

Cabe destacar, que no es posible calcular la vida útil del filtro a partir de estos resultados, ya que se necesita obtener la capacidad de adsorción del carbón activado, esta depende de diversos factores, algunos se relacionan con las características internas del carbón, como el diámetro y distribución de poros, el área superficial efectiva y tamaño de partícula, otros factores se relacionan con las propiedades del adsorbato, como su polaridad, presencia de grupos funcionales ácidos o básicos, tamaño molecular, y geometría, también se relaciona con las condiciones del fluido, como la temperatura, viscosidad y pH y por último, con los parámetros de operación**,** tales como profundidad, el tiempo de contacto y turbulencia de mezcla [73].

Existen modelos de equilibrio como las isotermas de Freundlich y Langmuir que permiten estimar la capacidad máxima de adsorción ajustando dos parámetros a partir de datos obtenidos a diferentes concentraciones, sin embargo, al contar solo con un dato experimental en un tiempo puntual, no es posible aplicar estos modelos [73].

Además, la capacidad típica reportada en la literatura para carbón activado granular para el contaminante analizado, es de 1 gramo de cloro por gramo de carbón activado [74], esta capacidad es muy elevada y la vida útil del filtro puede extenderse por años si la estimación se basa solo en este contaminante. En los filtros domésticos, el recambio suele hacerse en los meses recomendados por el fabricante por otras razones (como saturación con otros compuestos o control bacteriológico) no porque el carbón haya agotado su poder de retención de cloro libre. Por ende, como se mencionó en la Sección 8.3.3.3. se utilizará la capacidad de purificación indicada por el fabricante para el cartucho de GAC utilizado, que es de 10.000 litros, esto da como resultado el reemplazo de los cartuchos cada 4 meses.

EX UMBRA IN SOLEM

Conclusiones y recomendaciones

El trabajo desarrollado permitió implementar un sistema de filtración de agua en base a GAC con un enfoque sostenible contribuyendo a la mejora de la calidad del agua en la Escuela Las Palmas de Llay Llay, la metodología implementada, estructurada en cuatro fases, permitió cumplir con los objetivos específicos descritos, ya que, se logra diagnosticar las necesidades y afectaciones relacionadas con el acceso y calidad del agua en la escuela a partir de los instrumentos aplicados, además, se determina el sistema de filtración más adecuado a partir de los criterios técnicos de la escuela y las necesidades detectadas, se implementa el sistema con un enfoque sostenible y, por último, se monitorea y evalúa la eficiencia del filtro tanto con mediciones de cloro libre, pH, CE y TDS como con tres encuestas aplicadas en momentos clave. Se concluye que el filtro seleccionado es el más adecuado, ya que fue escogido en base a un análisis integral que incluyó la calidad inicial del agua, la infraestructura disponible, los riesgos asociados y otros factores relevantes. Durante los meses de monitoreo, el sistema mostró un funcionamiento estable y eficiente. Los análisis de muestras evidenciaron una mejora significativa en los parámetros evaluados, destacando una reducción superior al 90% en la concentración de cloro libre a las dos semanas desde el primer recambio. Esto indica una mejora en las características organolépticas del agua y, por ende, en la calidad del agua consumida por la comunidad escolar. Las encuestas reflejaron un aumento en la confianza, seguridad y satisfacción con el sistema, así como una percepción positiva respecto a la calidad del agua y el funcionamiento del filtro.

Respecto a la sostenibilidad, si bien esta no puede ser plenamente verificada en el tiempo de monitoreo establecido, se avanzó a generar las condiciones para que el proyecto sea sostenible, a partir de un sistema que tiene recambios de carbón, que es económicamente viable, se realizaron capacitaciones para los encargados del mantenimiento del sistema, se aplicaron talleres y charlas con un enfoque de educación ambiental y otras acciones alineadas con los factores clave para la sostenibilidad en proyectos de esta naturaleza. Se reconoce que la sostenibilidad integra dimensiones técnicas, económicas, sociales y ambientales, cuyo equilibrio resulta complejo y que varían dependiendo del proyecto. En el contexto específico de la Escuela Las Palmas, la dimensión de aceptabilidad social tuvo mayor énfasis que la viabilidad económica, dado que el sistema fue financiado inicialmente por el proyecto FSM 2395, sin

realizar una comparación exhaustiva con precios de mercado. Sin embargo, ambas dimensiones fueron consideradas y se trabajó más a profundidad en algunas que en otras. El seguimiento a largo plazo será fundamental para validar si estos equilibrios se mantienen.

Además, se corrobora la importancia del apoyo no solo de la comunidad escolar sino también de la comunidad local, en este caso fue necesaria la colaboración con el sistema de APR, la cual fue lograda con éxito.

Entre los desafíos identificados, destaca el financiamiento para los recambios posteriores a los tres años en que no se requieren compras adicionales. Aunque existen estrategias potenciales como la postulación a fondos o la coordinación entre apoderados, estas pueden resultar complejas en el contexto actual. Otros desafíos incluyen la necesidad de fortalecer el compromiso comunitario a largo plazo, asegurar la capacitación continua para el mantenimiento del sistema y adaptarse a posibles cambios en la infraestructura o en la calidad del agua.

La metodología propuesta es replicable para escuelas con características y necesidades similares, y puede adaptarse a otros contextos, incluyendo escuelas urbanas o aquellas que requieran diferentes tipos de sistemas de filtración.

Las recomendaciones propuestas son las siguientes:

- Para asegurar la continuidad del proyecto después de los tres años, se recomienda buscar financiamiento, este se puede obtener mediante alianzas con actores externos o mediante la postulación a fondos. También se puede fomentar la coordinación entre la escuela y los apoderados para financiar la compra de cartuchos, como se mencionó en el trabajo, actualmente, el costo estimado anual es inferior a CLP1000 por apoderado, considerando la cantidad de alumnos y el precio actual de los recambios. Esta cifra puede ser recalculada siguiendo la metodología propuesta si cambian las variables.
- Crear un protocolo interno que detalle responsabilidades, fechas de recambio, procedimientos de emergencia, reposición de cartuchos y aspectos relacionados con el cuidado del filtro, incluyendo medidas para protegerlo como la instalación de una caja protectora.
- Incorporar en alguna asignatura un módulo educativo sobre el funcionamiento del filtro, para que los alumnos nuevos conozcan el sistema y se refuerce el conocimiento en la comunidad escolar en general.

- Si se requiere establecer la vida útil específica del sistema, que varía según tipo de filtro de carbón activado, contexto escolar, calidad del agua, etc. Se recomienda realizar tomas de datos adicionales en laboratorio que consideren los factores para estimar la capacidad de adsorción del carbón activado, esto permitiría aplicar modelos como las isotermas de Freundlich o Langmuir para llegar a un resultado más confiable y optimizar el cronograma de recambios, complementando las indicaciones del fabricante.

EX UMBRA IN SOLEM

Referencias

[1] DIGESA, «PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS» s.f.

[2] Subsecretaría de Minería, «Perfil de Mercado del Carbón» 2017.

[3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «El carbón vegetal: proceso de producción, calidad y rendimiento» 2023.

[4] IDEAM, «CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN AGUAS POR EL METODO ELECTROMETRICO» 2006.

[5] M. J. Chacón, «ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DE AGUA POTABLE RURAL (APR) ANTE PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO Y AUSENCIA DE SANEAMIENTO EN LA ZONA SUR DE CHILE: CASO DEL APR BAHÍA MANSA» 2021.

[6] Instituto Nacional de Estadísticas, «CENSO 2017 – SÍNTESIS DE RESULTADOS» 2018.

[7] Fundación Amulén, «Educar Sin Agua» 2021.

[8] DGA, «Decretos declaración zona de escasez vigentes» Santiago, Chile, 2021.

[9] DGA, «Escasez Hídrica en la Región de Valparaíso» Santiago, Chile, 2020.

[10] Universidad Técnica Federico Santa María, «Informe de sostenibilidad 2023: Reformulación (FSM2395_ESR2023).» 2023. [En línea]. Disponible: https://vra.usm.cl/wp-content/uploads/2023/10/FSM2395_ESR2023_Reformulación-20_04_2023..pdf.

[11] Fundación Amulén, «Pobres de Agua: Radiografía del agua rural en Chile» 2019.

[12] E. Blanco y G. Donoso, «Agua potable rural: desafíos para la provisión sustentable del recurso» 2016.

[13] Á. Molina, C. Hueichaqueo, B. Martinez-Jimenez y A. Placeres, «Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural» *RIELAC,* vol. 42, nº 1815-5928, pp. 60-70, 2021.

[14] Sistema de las Naciones Unidas [SNU], «ESCASEZ HÍDRICA EN CHILE: DESAFÍOS PENDIENTES» 2021.

[15] DOH, «INFORME FINAL DE EVALUACIÓN: INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE AGUA POTABLE RURAL (APR)» Santiago de Chile, 2015.

[16] J. Schuster, «50 AÑOS DE PROGRAMA DE AGUA POTABLE RURAL EN CHILE: Un análisis institucional y normativo en el marco de la reforma del sector» Santiago de Chile, 2017.

[17] MOP, «MOP conmemora 60 años del programa de Agua Potable Rural (APR), que beneficia a más de 2 millones de personas en el país» 22 Noviembre 2024. [En línea]. Disponible: https://www.mop.gob.cl/mop-conmemora-60-anos-del-programa-de-agua-potable-rural-apr-que-beneficia-a-mas-de-2-millones-de-personas-en-el-pais/.

[18] DOH, «EVALUACIÓN PROGRAMAS GUBERNAMENTALES (EPG). PROGRAMA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE AGUA POTABLE RURAL (APR)» Santiago de Chile, 2015.

[19] MOP, «Ley 20.998 y Reglamento que Regula los Servicios Sanitarios Rurales» 12 Septiembre 2023. [En línea]. Disponible: https://www.mop.gob.cl/archivos/2023/12/Presentacion-Ley-y-Reglamento-SSR.pdf.

[20] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN], «Decreto 50. REGLAMENTO DE LA LEY Nº 20.998, QUE REGULA LOS SERVICIOS SANITARIOS RURALES.» 2020.

[21] DOH, «PROGRAMA DE AGUA POTABLE RURAL RESTABLECIMIENTO DE SERVICIOS EN SITUACIÓN DE CATÁSTROFE» 2016. [En línea]. Disponible: https://www.aidis.cl/wp-content/uploads/2016/10/01.-NICOLAS.GALVEZ-DOH.pdf.

[22] MOP, «Implementación Ley 20.998 Regulación Servicios Sanitarios Rurales» Noviembre 2018.

[23] Biblioteca del Congreso Nacional De Chile [BCN], «Ley 20998: REGULA LOS SERVICIOS SANITARIOS RURALES» 14 Febrero 2017. [En línea]. Disponible: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1100197.

[24] Instituto Nacional de Normalización, «NCh409» 2005. [En línea]. Disponible: https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf.

[25] Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CMMAD], «Nuestro futuro común [Informe Brundtland]» Naciones Unidas, 1987.

[26] R. Sabogal, E. Medlin, G. Aquino y R. Gelting, «Sustainability of water, sanitation and hygiene interventions in Central America» 2014. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/290392177_Sustainability_of_water_sanitation_and_hygiene_interventions_in_Central_America.

[27] C. Norori, «Proyectos Sostenibles de Agua y Saneamiento» 2022.

[28] Banco Interamericano de Desarrollo [BID], «La Sostenibilidad en las Intervenciones de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales» 2014.

[29] Muneer Jebreel Karama, «A comparative survey of environmental education goals between the UNESCO framework and 10th grade Palestine curriculum» Hebron, Palestine.

[30] Ministerio del Medio Ambiente [MMA], «EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA LA SUSTENTABILIDAD» 2018.

[31] MINEDUC, «Currículum Nacional. Educación Ambiental» 2021.

[32] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, «LEY 19.300. APRUEBA LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE» 1994.

[33] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN], «Ley 20370. ESTABLECE LA LEY GENERAL DE EDUCACIÓN.» 2009.

[34] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN], «Educación para la sustentabilidad ambiental. Normas en Chile y experiencias comparadas» 2023.

[35] Ministerio del Medio Ambiente [MMA], «Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable» 2015.

[36] B. Yunet y M. Véliz, «Estrategias metodológicas en la educación ambiental. Estudio de caso de un docente de Ciencias Naturales de una institución educativa pública» 2022.

[37] A. Espejel y A. Flores, «Educación ambiental escolar y comunitaria en el nivel medio superior, Puebla-Tlaxcala, México» Tlaxcala, México, 2012.

[38] Ministerio del Medio Ambiente [MMA], «EDUCACION AMBIENTAL. Una mirada desde la institucionalidad ambiental chilena» Santiago de Chile, 2018.

[39] P. Schulte, «Defining Water Scarcity, Water Stress, and Water Risk: It's Not Just Semantics.» 2014.

[40] Biblioteca del Congreso Nacional [BCN], «Escasez hídrica en Chile y las proyecciones del recurso» 2021.

[41] Comunicaciones CR2, «Crisis hídrica en Chile: ¿Estamos cerca del día cero?» 10 Abril 2024. [En línea]. Disponible: https://www.cr2.cl/crisis-hidrica-en-chile-estamos-cerca-del-dia-cero/.

[42] R. Alvarado y F. De la Vega, «Noticias Universidad de Chile: Chile lidera la crisis hídrica en América Latina» 22 Marzo 2022. [En línea]. Disponible: https://forestal.uchile.cl/noticias/184816/dia-mundial-del-agua-chile-lidera-la-crisis-hidrica-en-america-latina.

[43] J. Fuentes, «Escasez hídrica en tiempos de crisis, austeridad y cambio. Impactos en los modos de vida rural desde el caso de Illapel» *Revista de Sociología,* vol. 39, 2024.

[44] Agencia de Protección Ambiental [EPA], «Descripción general de las tecnologías de tratamiento de agua potable» 2025.

[45] M. Álvarez, F. Carrasco y F. Maldonado, «Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón» Sevilla, 2014.

[46] L. Sandoval y J. Yupanqui, «Aplicación del carbón activado granular y carbón activado en polvo como filtrantes para la mejora de la calidad de agua del río Alameda, Ayacucho, 2022» Huancayo, 2023.

[47] D. Acevedo, «Pruebas de adsorción y regeneración química de carbón activado granular de madera y de cáscara de coco para el tratamiento de agua residual de la industria del teñido textil» 2018.

[48] D. Omenat, «Modificación química de los carbones activados con ácidos minerales,» 2016.

[49] V. Pérez, «TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA PRODUCCIÓN DE BEBIDAS RESFRESCANTES» 2004.

[50] L. Guerrero, «Tratamientos Terciarios o Avanzados. Tratamiento de RILES.» s.f..

[51] M. Maranto y G. María, «Fuentes de Información» Pachuca de Soto, México, 2015.

[52] M. Cea D'Ancona, «METODOLOGÍA CUANTITATIVA: ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN SOCIAL» SÍNTESIS SOCIOLOGÍA , 1999.

[53] J. Casas Anguitaa, JR. Repullo Labradora, J. Donado Camposb, «La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I)» *Atención Primaria. Elsevier,* vol. 31, nº 8, 2003.

[54] Richards, J; et al. , «Qualitative Data Analysis for Applied Policy Research» 1992.

[55] Universidad de Chile, «La entrevista como instrumento de investigación» s.f. [En línea]. Disponible: https://aprendizaje.uchile.cl/recursos-para-leer-escribir-y-hablar-en-la-universidad/profundiza/profundiza-en-la-tesis/entrevista/.

[56] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN], «Índice de Vulnerabilidad Escolar en la comuna de Cerro Navia.» 2020.

[57] DAEM Llay Llay, «Escuela Básica Las Palmas» s.f. [En línea]. Disponible: https://daemllayllay.cl/las-palmas/.

[58] Alicia Hamui-Sutton, «An approach to mixed methods research in medical education» 2013.

[59] J. Creswell y V. Plano Clark, «Designing and Conducting Mixed Methods Research» 2011.

[60] Agencia de Protección Ambiental [EPA] , «Saving Water in Educational Facilities» 2012.

[61] A. B. Inocencio, J. E. Padilla y E. P. Javier, «Determination of Basic Household Water Requirements.» 1999.

[62] C. d. Alamo, «El agua de lluvia aporta 1.900 litros por alumno y año en un colegio público de Madrid» 2018. [En línea]. Available: https://www.iagua.es/blogs/carlos-alamo/agua-lluvia-aporta-1900-litros-alumno-y-ano-colegio-publico-madrid#:~:text=Obs%C3%A9rvese%20que%20el%20consumo%20de,abastecido%20con%20agua%20de%20lluvia.

[63] Soy Chile, «Nutricionista y consumo de agua en niños: “Deben beber de 1 a 1,5 litros diarios” l» 27 Marzo 2017. [En línea]. Disponible: https://www.soychile.cl/Antofagasta/Sociedad/2017/03/27/454484/Nutricionista-y-consumo-de-agua-en-ninos-Deben-beber-de-1-a-15-litros-diarios.aspx.

[64] CDC Nutrition, «Fast Facts: Data on Water Consumption» 19 Junio 2024. [En línea]. Disponible: https://www.cdc.gov/nutrition/php/data-research/fast-facts-water-consumption.html#:~:text=Plain%20water%20consumption%20varies%20by,age%2C%20race%2Fethnicity%2C%20and%20socioeconomic%20status.

[65] Araneda et al., «CONSUMO DE AGUA EN ESCOLARES DE LA ZONA SUR DE CHILE» 2015.

[66] E. Fiore, E. Meza Miranda y B. E. Núñez Martínez, «CONSUMPTION OF WATER AND SUGARED BEVERAGES ACCORDING TO THE RECOMMENDATIONS OF THE PARAGUAY FOOD GUIDELINES IN SCHOOL CHILDREN FROM 4th TO 6th GRADES IN TWO SCHOOLS OF THE CITY OF VILLA ELISA» Asunción, Paraguay, 2022.

[67] Guelinckx et al., «Ingesta de agua y bebidas de niños y adolescentes en 13 países» *Revista Europea de Nutrición,* vol. 54, p. 69–79, 2015.

[68] OsmoSystems, «Carcasa Triple Porta Filtro Transparente Conexión 3/4"» s.f. [En línea]. Disponible: https://www.osmosystems.cl/carcasa-triple-porta-filtro-transparente-conexion-34.

[69] Water Concept, «Carter porte filtre 3P 10" Senior Triplex BX entrée/sortie 3/4" femelle» s.f. [En línea]. Disponible: https://www.waterconcept.fr/3693-carter-porte-filtre-3p-10-senior-triplex-bx-entree-sortie-3-4-femelle.html.

[70] Viga Home, «¿Para qué sirve una carcasa de filtro de agua?» s.f. [En línea]. Disponible: https://vigahome.com/blogs/blog-vigahome/para-que-sirve-una-carcasa-de-filtro-de-agua#:~:text=Lo%20m%C3%A1s%20importante%20es%20que,es%20de%20aproximadamente%205%20a%C3%B1os.

[71] La Carbotecnia, «CARTUCHO DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR» s.f. [En línea]. Disponible: https://carbotecnia.info/PDF/cartuyporta/GAC10.pdf.

[72] P. Rodríguez, L. Giraldo y J. Moreno, «INFLUENCIA DEL pH SOBRE LA ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO DE Cd(II) Y Ni(II) DESDE SOLUCIONES ACUOSAS» 2010.

[73] Universidad de Sevilla, «MANUAL DEL CARBÓN ACTIVO» Sevilla, s.f.

[74] F. DeSilva, «Activated Carbon Filtration,» *Water Quality Products Magazine,* 2000.

[75] Rincón et al., «Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías,» Bogotá, Colombia., 2014.

[76] J. Jiménez y D. González, «PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO QUÍMICA Y FISICAMENTE A ESCALA LABORATORIO A PARTIR DE CARBÓN MINERAL Y SU APLICACIÓN EN LA ADSORCIÓN DE ORO DE SOLUCIONES CIANURADAS SINTÉTICAS,» SANTIAGO DE CALI - COLOMBIA, 2014.

Anexos

Anexo A. Entrevista grupal dirigida a Docentes, Asistentes de la Educación y Encargada de Medio Ambiente.

Dirigido a docentes, Asistentes de la Educación y Encargado/a de Medio Ambiente		
Contextualización del proyecto y la entrevista	La presente entrevista grupal se enmarca dentro de la fase de diagnóstico participativo del proyecto "Innovación y colaboración Universitaria para combatir la escasez hídrica: mejoramiento de la gestión del agua en comunidades educativas rurales de la región de Valparaíso" Implementado por la USM y financiado por el Ministerio de Educación.	
	El objetivo de este proyecto es fortalecer la capacidad de gestión y control de calidad de agua reciclada por parte de las comunidades rurales con las que trabajamos mediante el uso de herramientas de innovación y tecnología co-creadas entre nosotros (estudiantes) y la comunidad educativa.	
	La fase de "diagnóstico participativo" cuenta con instrumentos y estrategias diferenciadas para el levantamiento de información por parte de los distintos estamentos que componen la escuela. En el caso de los profesores y profesoras, asistentes de la educación y encargado/a de Medio ambiente hemos diseñado una entrevista grupal, que nos ayude a comprender de mejor manera la problemática de Escasez hídrica y cómo afecta el funcionamiento de la escuela desde la perspectiva de cada uno de ustedes, a la vez se busca promover una instancia para compartir los saberes que tiene cada uno/a en la temática.	
	Nombre	Rol / cargo
Participantes		
Dimensión		
Contextualización de la problemática	¿Consideran que la comunidad educativa está siendo afectada por la problemática de Escasez hídrica?	
	¿Cuándo comenzó a notarse la escaséz hídrica en el sector?	
	¿Cuáles creen que son las causas?	
	¿Cuáles consideran que son sus principales efectos?	
	¿Qué problemas para gestionar el agua presentan en la escuela?	
	¿Consideran que la problemática hídrica afecta el normal funcionamiento de la vida en la escuela? ¿De qué manera?	
Perspectiva de género	¿Consideran que la problemática hídrica afecta de distinta manera a hombres / mujeres, niños y niñas?	
	¿De qué manera se ven reflejadas las diferencias?	
Procesos de uso y reutilización	¿Ha cambiado la forma de uso del agua en el tiempo? ¿en qué lo notan?	
	¿Han tenido que incorporar nuevas prácticas para la gestión del agua en la escuela? ¿Cuáles?	
	¿Han debido incorporar nuevos procesos para el uso eficiente del recurso hídrico?	
	¿Consideran que las prácticas y los procesos incorporados ayudan a enfrentar la problemática de escaséz hídrica que afecta a la localidad?	
Abordaje	¿Cómo enseñan en la escuela el cuidado del medio ambiente?	
	¿Cómo se aborda la temática de escasez hídrica en el modelo educativo?	
	¿Han participado otros actores (Públicos o privados) de la comunidad en el abordaje de la temática mencionada anteriormente? Nombrelos y describa su rol	
	¿Cómo describiría la participación de los estudiantes en dichas actividades?	
	¿Cómo describiría la colaboración de los apoderados en las actividades ligadas a medio ambiente y escasez hídrica?	
Propuestas	Considerando la realidad de la escuela, ¿qué creen que se podría implementar para hacer frente a la problemática hídrica local?	
	¿Qué otros actores (Públicos o privados) consideras que podrían participar para hacer frente a esta problemática que vive la escuela? ¿De qué manera podrían hacerlo?	
	Desde el rol que les toca cumplir como docentes, asistentes de la educación, Encargado/a de Medio ambiente ¿De qué manera creen que podrían aportar a el abordaje de esta problemática en la escuela?	

Anexo B. Estructura del taller participativo.

TALLER ESTUDIANTES

Tema: "Cómo convivimos los niños y las niñas con el agua en la comunidad"		
Objetivo: generar una instancia participativa donde NNJ puedan compartir experiencia relacionadas con el agua en contexto de escasez hídrica.		
Participantes: Grupo de 15 a 20 estudiantes de enseñanza básica (segundo ciclo)		
Lugar: Sala de clases y patio de la escuela.		
Técnica: vivencial de análisis.		
Materiales: Hojas blancas y lápices de colores.		
Etapas	Descripción	Duración
1. Rompe Hielo	Presentación grupo, contextualización del proyecto. Animómetro, actividad de inicio.	10 min.
2. Desarrollo	Se **contextualiza** respecto de la **problemática de escasez hídrica**, **activando conocimientos previos** de las y los participantes. Luego de una pequeña descripción, se les pregunta acerca de **prácticas que realizan ellos en sus vidas para afrontar esta problemática**. Para introducir la actividad central se comenta que se les va a invitar a los NNJ a **convertirse en escritores y escritoras**. Se puede mencionar a algunas escritoras y escritores relevantes que escribieron desde pequeños/as. Relevar la importancia **del valor que tiene expresar sus perspectiva e ideas desde su ser niños y niñas**. Se repasa junto a ellos los elementos principales que tienen los cuentos: **inicio, desarrollo, cierre, personajes y sus características**. Se les comenta que el cuento se debe enmarcar en la temática: "Cómo convivimos los niños y las niñas con el agua en nuestra comunidad" Se les pide que puedan escribir un cuento el cual puede ser una historia basada en hechos reales o ficción que hable sobre la temática. Se **divide al curso en grupos de estudiantes** (5 integrantes por grupo aproximadamente, sin embargo, dependerá del número total de estudiantes que participen de la actividad). Luego se les pide que por grupo elijan un lugar del patio que les inspire a escribir la historia, cada grupo irá acompañado de un estudiante USM o profesional del equipo FSM2395. Luego de que todos la escribieron, se comparte en cada grupo las historias y luego se realiza el retorno a la sala	55 min.
3.Cierre	Se les pregunta si alguno **quisiera compartir su relato (máximo 4), dos niñas y dos niños.** Luego se les pide que puedan entregar los cuentos al equipo para registro del contenido, los cuales serán devueltos posteriormente a la escuela. Se les entrega un block y lápices, comentando que pueden realizar un dibujo ilustrativo de la historia que acaban de escribir. Quienes lo traigan de vuelta a la escuela, podrán acceder a aparecer en un compilado de registro que se realizará con los cuentos y dibujos, los cuales podrían ser mostrados tanto a la escuela como a la comunidad. Cierre de actividad	15 min.

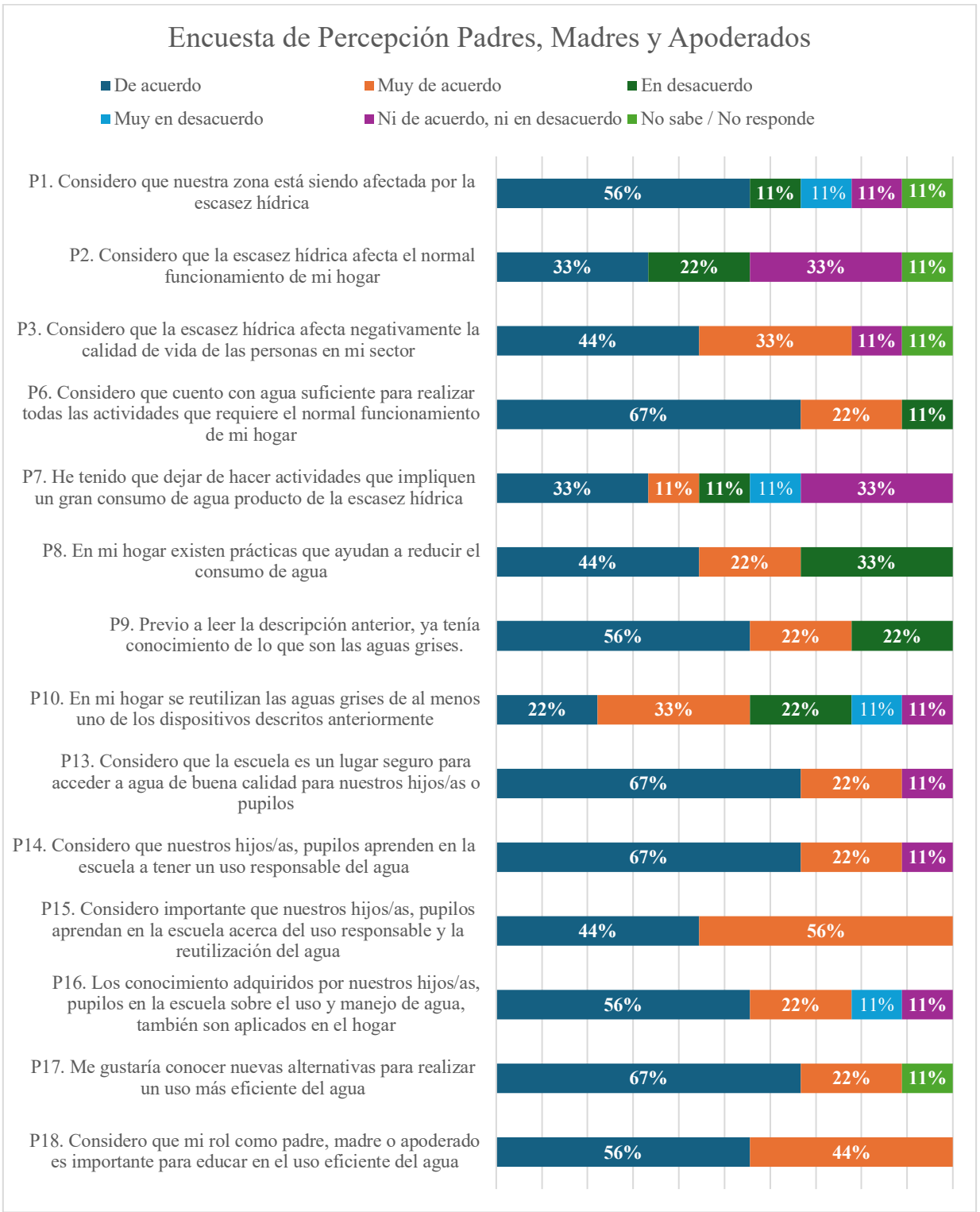
Anexo C. Encuesta para el levantamiento técnico.

Encuesta para levantamiento técnico - Proyecto FSM2395											
Nombre encuestado/a											
Nombre Escuela											
Cargo /Rol dentro de la escuela											
Jefatura	(indicar a quien reporta sus acciones)										
Nombre de quién realiza encuesta											
Cargo / Rol dentro del proyecto FSM2395											
Puede marcar más de una alternativa en las preguntas que aparecen a continuación											
Dimensiones											
Accesibilidad	¿La escuela tiene acceso a agua potable?	Si		No							
	¿Cuál es su fuente de agua potable primaria?	Camión aljibe		APR		Otro:					
	¿Posee una fuente de agua potable secundaria?	APR		Vertiente		Pozo		Otro:			
Disponibilidad	¿Con que frecuencia le entregan agua potable?	Diaria		Semanal		Mensual		Otro:			
	¿Con que frecuencia dispone de agua potable?	24 hrs. / día		<24 hrs. / día (indicar n° hrs.)							
	Cantidad estimada de consumo mensual (registro de 12 meses)	*solicitar recibos de consumo de agua									
Almacenamiento	¿La escuela posee un sistema para almacenar agua potable?	si		no							
	Indique sistema de almacenamiento	Estanque		Tambor		Piscina		Otro:			
	Indique capacidad de almacenamiento	Indique cantidad en litros:									
	Estado del sistema de almacenamiento	Bueno*		Regular*		Malo*		Observaciones			
	Indique si tiene sistema de almacenamiento secundario	Indique cantidad en litros:									
	Estado del sistema de almacenamiento secundario	Bueno		Regular		Malo		Observaciones			
*Bueno: Se encuentra en óptimas condiciones, pudiendo cumplir a cabalidad con su función / Regular: Presenta algunos desperfectos o fallas, pudiendo cumplir su función de manera relativa / Malo: Presenta desperfecto o fallas que le impiden cumplir su función											
Soporte eléctrico	¿La escuela utiliza sistema eléctrico para la distribución de agua?	si		No							
	¿Qué tipo de sistema eléctrico tiene la escuela?	Conectado a red		Generador		Panel solar		Otro:			
	Cuál es la capacidad del sistema electrico (KW)										
	Cantidad estimada de consumo mensual (registro de 12 meses)	Solicitar recibos de consumo eléctrico									
Distribución	Indique tipo de sistema de distribución dentro de la escuela	Cañería		Manguera		otro:					
	Estado del sistema de distribución	Bueno		Regular		Malo					
Sistema de bombeo	¿Posee la Escuela bomba de presión para la distribución?	Si		No							
	Estado de la bomba de presión	Bueno		Regular		Malo		Observaciones			
Calidad	¿Cuál es la entidad encargada de medir la calidad del agua que se consume en la escuela ?										
	¿Con qué periodicidad se realiza la medición de calidad del agua?	Indicar periodicidad en días									
	¿Tiene la escuela acceso a dicha información de manera oportuna?	Si		No				Observaciones			
Percepción de la Calidad	Según los siguientes parámetros: ¿Cómo considera que es el agua que se consume en la escuela?										
	Sabor	Excelente**		Buena**		Regular**		Mala**			
	Olor	Excelente**		Buena**		Regular**		Mala**			
	Color	Excelente**		Buena**		Regular**		Mala**			
	Presión	Excelente**		Buena**		Regular**		Mala**			
	Otro (Indicar)	Excelente**		Buena**		Regular**		Mala**			
	Comentarios respecto de cada categoría:										
**Excelente: Presenta óptimas condiciones / Buena: Presenta alguna característica que hace que no sea óptima / Regular: presenta condiciones que genera dudas respecto de su calidad (especificar) / Mala: Presenta malas condiciones (especificar)											
Formación / capacitación	¿Los funcionarios de la escuela cuentan con conocimientos sobre gestión hídrica? (Uso eficiente, reutilización, recolección, humedales, ahorro, etc.)	Si		No							
	Mencione áreas de conocimiento										
	Identifique a la/ las personas que maneja dicho conocimiento										
	¿Las y los estudiantes de la escuela cuentan con conocimientos sobre gestión hídrica?	Si		No							
	Mencione áreas de conocimiento										
	Identifique a el o los cursos / ciclos que maneja dicho conocimiento										
	¿Han tenido alguna capacitación anterior sobre gestión hídrica en la escuela? (Especifique en qué)										
	Considera que la comunidad escolar estaría interesada en participar de alguna capacitación en la materia	si		no							
	En orden de prioridad indiqué qué materia y quien / quienes serían los participantes de dicha capacitación (Responder en los apartados que aparecena a continuación)										
	Contenido:										
	Posibles participantes:										
	Contenido:										
	Posibles participantes:										
Comentarios finales	¿Hay algo más que le gustaría agregar o comentar respecto de esta temática?										

*Solicitar planos escuela y de sistemas en caso de ser necesario									
Si la escuela cuenta con sistema de reciclaje, complete el siguiente apartado									
Reciclaje	¿Posee sistema/s de reciclaje de aguas?	si		no					
Sistema n° 1									
Indique tipología del sistema de reciclaje n° 1		Tipo:							
Elementos que componen el sistema:									
¿En qué estado se encuetra el sistema de reciclaje?		Optimo		deficiente		desuso		Observaciones	
¿Qué uso se le da al agua reciclada?		Huerto		Patio		Consumo		Otro:	
Indique la cantidad aproximada de agua que se logra recuperar		Cantidad en lt.							
¿Qué tan eficiente considera que es el sistema?		Eficiente		Mediana mente Eficiente		Poco eficiente		No es eficie nte	
Represente de manera gráfica el sistema (diagrama de bloques, dimensiones, etapas, cantidad de equipos, breve explicación del funcionamiento):									
Sistema n° 2									
Indique tipología del sistema de reciclaje n° 1		Tipo:							
Elementos que componen el sistema:									
¿En qué estado se encuetra el sistema de reciclaje?		Optimo		deficiente		desuso		Observaciones	
¿Qué uso se le da al agua reciclada?		Huerto		Patio		Consumo		Otro:	
Indique la cantidad aproximada de agua que se logra recuperar		Cantidad en lt.							
¿Qué tan eficiente considera que es el sistema?		Eficiente		Mediana mente Eficiente		Poco eficiente		No es eficie nte	
Represente de manera gráfica el sistema (diagrama de bloques, dimensiones, etapas, cantidad de equipos, breve explicación del funcionamiento):									
Sistema n° 3									
Indique tipología del sistema de reciclaje n° 1		Tipo:							
Elementos que componen el sistema:									
¿En qué estado se encuetra el sistema de reciclaje?		Optimo		deficiente		desuso		Observaciones	
¿Qué uso se le da al agua reciclada?		Huerto		Patio		Consumo		Otro:	
Indique la cantidad aproximada de agua que se logra recuperar		Cantidad en lt.							
¿Qué tan eficiente considera que es el sistema?		Eficiente		Mediana mente Eficiente		Poco eficiente		No es eficie nte	
Represente de manera gráfica el sistema (diagrama de bloques, dimensiones, etapas, cantidad de equipos, breve explicación del funcionamiento):									

EX UMBRA IN SOLEM

Anexo D. Resultados encuesta de percepción dirigida a padres, madres y apoderados.



Anexo E. Informe de ensayo microbiológico ALI-439

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
ESCUELA DE ALIMENTOS
LABORATORIO DE ASISTENCIA TECNICA

INFORME DE ENSAYO ALI-439
R-PR-IE-1-16 / 27-05-21

Información del Cliente				
Nombre	:	Universidad F. Santa María		
Dirección	:	Avda. España 1680 Valparaiso		
Solicitado por	:	Andrea Granados		
Información de los ítemes de ensayo				
Tipo de Muestra	:	Aguas no clorada		
Muestreado por	:	Cliente		
Nº de Muestras	:	5		
Fecha/Hora/T° de Ingreso	:	09-05-2024	12:55 hrs	2,5ºC
Cotización N°	:	20-24		
Fecha emisión de informe	:	15-05-2024		

RESULTADOS DE ENSAYOS

Ensayo/ Unidad	Identificación de la muestras:					Fecha / hora inicio ensayo	Fecha / hora término ensayo
	Patio Puchuncavi	Estanque Puchuncavi	Cocina niños Puchuncavi	Cocina Llay Llay	Bebedero Llay Llay		
	NI: 439-1	NI: 439-2	NI: 439-3	NI: 439-4	NI: 439-5		
Determinación de Coliformes Totales (NMP/100mL)	<1	2	<1	1	<1	09-05-24 14:10	10-05-24 12:30
Determinación de Escherichia coli (P/A)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia		

NMP/100mL= Número más probable por 100 ml. NI: Número Interno
P/A = Presenia o Ausencia

MÉTODOS UTILIZADOS

Ensayo/ Unidad	Metodología o Norma	Acreditado por INN, Acreditación:
Determinación de Coliformes Totales (NMP/100mL)	UNE-ISO 9308-2 : 2012	LE 692
Determinación de Escherichia coli (P/A)	UNE-ISO 9308-2 : 2012	LE 692

ASISTEC NO se responsabiliza sobre:
- La información proporcionada por el cliente
- La validez del procedimiento de muestreo utilizado

Los resultados emitidos se aplican a las muestras tal cual como se reciben.

Marcia Fabiola Arancibia Valdivia
Firmado digitalmente por Marcia Fabiola Arancibia Valdivia
Fecha: 2024.05.15 13:20:47 -04'00'

Marcia Arancibia Valdivia
Jefe de Laboratorio

Ensayos realizados en condiciones normales, según lo indicado en metodologías. Los resultados informados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s).
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe, sin previa autorización de ASISTEC, Laboratorio de Asistencia Técnica

WADDINGTON 716 – PLAYA ANCHA – VALPARAÍSO – CASILLA 4059 – CHILE – TELÉFONOS (+56) 322274229 – 322274233
e-mail: secretaria.asistec@pucv.cl – comercial.asistec@pucv.cl - www.asistec.pucv.cl

Anexo F. Informe de ensayo de agua potable del mes de agosto.

Silob Chile

INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE
(RS 14.15)

Versión digital

Fecha emisión informe : **12/09/2024**
Entidad/dirección : Silob Chile, Javiera Carrera 839, Valparaíso, V Región
Informe número: : **A5695.2024** Identificación : 1 original
Cliente : **Comité APR Las Palmas, Llay-Llay** Dirección Cliente : **Las Palmas S/N, Llay-Llay**

CARACTERISTICAS MUESTRA

Muestra : Agua de pozo
Plan / Método muestreo : Definido por el Cliente / PS08 Rev.77 - IS112 Rev.10 basados en NCh409/2:2004
Identificación y tamaño de la muestra : M1 = Pozo 2, llave primera salida

Entidad Muestreadora : Silob Chile **Laboratorio**
Fecha y hora Muestreo : 22 de Agosto de 2024 / 10:25 a 10:40 h Fecha y hora Ingreso Laboratorio: 22 de Agosto de 2024 / 14:02 h
Lugar toma de muestra : APR Las Palmas, LLay LLay
Tipo de envase : Vidrio y Plástico según corresponda
Desviación al Procedimiento especificado en esta Norma: SÍ NO: X

Parámetros Examinados

Parámetros	Identificación Método de ensayos	Preservante	Acreditación por INN	Fecha y hora inicio análisis	Fecha y hora término análsis
Química					
Amoníaco (mg/L)	ME-27-2007 SISS 2007	H2SO4 pH<2	LE 106	28/08/2024 14:00	28/08/2024 16:00
Arsénico (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Cadmio (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Cianuro (mg/L)	ME-14-2007 SISS 2007	NaOH 10N pH>12	LE 106	30/08/2024 10:14	02/09/2024 15:14
Cloruro (mg/L)	ME-28-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	26/08/2024 17:20	26/08/2024 18:00
Cobre (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Compuestos fenólicos (ug/L)	ME-32-2007 SISS 2007	H2SO4 pH<2	LE 106	28/08/2024 08:00	02/09/2024 13:50
Cromo Total (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Fluoruro (L) (mg/L)	ME-06-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	23/08/2024 08:15	23/08/2024 13:10
Hierro (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Magnesio (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Manganeso (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Mercurio (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Nitrato (mg NO3/L)	ME-16-2007 SISS 2007	H2SO4 pH<2	LE 106	23/08/2024 16:50	23/08/2024 17:50
Nitrito (mg NO2/L)	ME-17-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	23/08/2024 08:00	23/08/2024 09:00
Plomo (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Razón nitrato + nitrito	NCh409/1.Of2005 Cálculo	-- --	LE 106	-- --	-- --
Sólidos disueltos totales (L) (mg/L)	ME-31-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	26/08/2024 16:30	26/08/2024 16:30
Selenio (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Sulfatos (mg/L)	ME-30-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	29/08/2024 10:00	30/08/2024 16:30
Zinc (mg/L)	SM 23rd Edition Método 3030 K - 3125 B	HNO3 exento de Hg, pH<2	LE 106	28/08/2024 09:00	30/08/2024 16:30
Microbiología					
Coliformes totales (NMP/100 ml)	NCh1620/1:2020	Na2S2O3+EDTA	LE 045	22/08/2024 14:15	24/08/2024 15:12
Escherichia coli (Presencia/Ausencia)	ME-01-2007 SISS 2007	Na2S2O3+EDTA	LE 045	22/08/2024 14:15	24/08/2024 15:12
Físico-Química					
* Temperatura (T) (°C)	Termometría	-- --	N/A	22/08/2024 10:25	22/08/2024 10:40
Cloro residual (T) (mg/L)	IS58 basado en kit de terreno	-- --	OI 251	22/08/2024 10:25	22/08/2024 10:40
Color verdadero (Pt-Co)	ME-24-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	22/08/2024 17:30	22/08/2024 17:40
Olor	ME-25-2013 SISS 2013	S/P	LE 106	22/08/2024 17:30	22/08/2024 19:20
pH a * °C (T) (Unidades pH)	ME-29-2007 SISS 2007	-- --	LE 106	22/08/2024 10:25	22/08/2024 10:40
Sabor	ME-26-2013 SISS 2013	S/P	LE 106	22/08/2024 17:30	22/08/2024 19:20
Turbiedad (L) (NTU)	ME-03-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	22/08/2024 17:30	22/08/2024 18:00

S/P: Sin preservante (T): Terreno N/A: No Acreditado Muestreo Acreditado para los Ensayos Acreditados

Silvia Díaz Araya
Encargado Laboratorio de aguas
SILOB CHILE

Silob Chile es responsable sólo por los valores analíticos de las muestras analizadas
Este informe no puede ser reproducido, en forma parcial o total, sin la aprobación escrita del Laboratorio
El presente Informe de Ensayo no puede ser presentado ante la SMA

Javiera Carrera 839 - Casilla 1225 - Teléfono (56) 3221 890 00 - Valparaiso - Chile
Oficinas de Atención: Arica - Iquique - Coquimbo - Valparaíso - Santiago - Puerto Montt - Punta Arenas
E-mail:siloblaboratorio@silobchile.cl - www.silobchile.cl

Silob Chile

INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE
(RS 14.15)

Informe número: A5695.2024

Parámetros Tipo I. Microbiológicos y Turbiedad

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Microbiología		
Coliformes totales (NMP/100 ml)	5	<1,8
Escherichia coli (Presencia/Ausencia)	Ausencia	Ausencia
Fisico-Química		
Turbiedad (L) (NTU)	2	0,30

Parámetros Tipo II. Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud
Tabla 1. Elementos esenciales

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Química		
Arsénico (mg/L)	0,01	<0,005
Cobre (mg/L)	2	<0,005
Cromo Total (mg/L)	0,05	<0,005
Fluoruro (L) (mg/L)	1,5	0,153
Hierro (mg/L)	0,3	<0,02
Magnesio (mg/L)	125	54,0
Manganeso (mg/L)	0,1	0,0061
Selenio (mg/L)	0,01	0,0110
Zinc (mg/L)	3	<0,02

Parámetros Tipo II. Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud
Tabla 2. Elementos o sustancias no esenciales

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Química		
Cadmio (mg/L)	0,01	<0,0008
Cianuro (mg/L)	0,05	<0,01
Mercurio (mg/L)	0,001	<0,0005
Nitrato (mg NO3/L)	50	48,3
Nitrito (mg NO2/L)	3	<0,01
Plomo (mg/L)	0,05	<0,005
Razón nitrato + nitrito	1	0,966

Parámetros Tipo IV. Requisitos de calidad para parámetros organolépticos
Tabla 7. Parámetros relativos a características organolépticas

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Química		
Amoníaco (mg/L)	1,5	<0,122
Cloruro (mg/L)	400	34,2
Compuestos fenólicos (ug/L)	2	<2
Sólidos disueltos totales (L) (mg/L)	1500	192
Sulfatos (mg/L)	500	112
Físico-Química		
* Temperatura (T) (°C)	--	17,3
Cloro residual (T) (mg/L)	0,2 < M <2	<0,1
Color verdadero (Pt-Co)	20	<5
Olor	inodoro	Inodoro
pH a * °C (T) (Unidades pH)	6.5 < M <8.5	7,18
Sabor	Insípido	Insipido

M = Muestra
(*)Limite máximo según Norma Chilena 409/1.Of2005. Agua potable parte 1: Requisitos

Tiempo de Almacenamiento para Olor y Sabor: 06 hrs 50 min

SILVIA ROSA DIAZ ARAYA
www.ripit.cl
Firmado digitalmente por SILVIA ROSA DIAZ ARAYA (CN): c=CL, email=s.diaz@silobchile.cl, fecha=12-09-2024 14:12:23

Silvia Diaz Araya
Encargado Laboratorio de aguas
SILOB CHILE

Silob Chile es responsable sólo por los valores analíticos de las muestras analizadas
Este informe no puede ser reproducido, en forma parcial o total, sin la aprobación escrita del Laboratorio
El presente Informe de Ensayo no puede ser presentado ante la SMA

Anexo G. Informe de ensayo de agua potable del mes de septiembre.

Silob Chile

INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE
(RS 14.15)

Versión digital

Fecha emisión informe : **26/09/2024**
Entidad/dirección : Silob Chile, Javiera Carrera 839, Valparaíso, V Región
Informe número: : **A6308.2024** Identificación : 1 original
Cliente : **Comité APR Las Palmas, Llay-Llay** Dirección Cliente : **Las Palmas S/N, Llay-Llay**

CARACTERISTICAS MUESTRA

Muestra : Agua de pozo potabilizada
Plan / Método muestreo : Definido por el Cliente / PS08 Rev.77 - IS112 Rev.10 basados en NCh409/2:2004
Identificación y tamaño de la muestra : M1 = Llave de medidor

Entidad Muestreadora : Silob Chile **Laboratorio**
Fecha y hora Muestreo : 12 de Septiembre de 2024 / 09:50 a 10:00 h Fecha y hora Ingreso Laboratorio: 12 de Septiembre de 2024 / 14:02 h
Lugar toma de muestra : Las Palmas, Parcela 34 LLay LLay. Socia : Carolina Serey
Tipo de envase : Vidrio y Plástico según corresponda

Desviación al Procedimiento especificado en esta Norma: SÍ NO: X

Parámetros Examinados

Parámetros	Identificación Método de ensayos	Preservante	Acreditación por INN	Fecha y hora inicio análisis	Fecha y hora término análsis
Microbiología					
Coliformes totales (NMP/100 ml)	NCh1620/1:2020	Na2S2O3	LE 045	12/09/2024 14:36	14/09/2024 15:25
Escherichia coli (Presencia/Ausencia)	ME-01-2007 SISS 2007	Na2S2O3	LE 045	12/09/2024 14:36	14/09/2024 15:25
Físico-Química					
* Temperatura (T) (°C)	Termometría	-- --	N/A	12/09/2024 09:50	12/09/2024 10:00
Cloro residual (T) (mg/L)	IS58 basado en kit de terreno	-- --	OI 251	12/09/2024 09:50	12/09/2024 10:00
Color verdadero (Pt-Co)	ME-24-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	12/09/2024 16:40	12/09/2024 17:30
Olor	ME-25-2013 SISS 2013	S/P	LE 106	12/09/2024 16:40	12/09/2024 18:20
pH a * °C (T) (Unidades pH)	ME-29-2007 SISS 2007	-- --	LE 106	12/09/2024 09:50	12/09/2024 10:00
Sabor	ME-26-2013 SISS 2013	S/P	LE 106	12/09/2024 16:40	12/09/2024 18:20
Turbiedad (L) (NTU)	ME-03-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	12/09/2024 16:40	12/09/2024 17:30

S/P: Sin preservante (T): Terreno N/A: No Acreditado Muestreo Acreditado para los Ensayos Acreditados

RESULTADOS
Parámetros Tipo I. Microbiológicos y Turbiedad

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Microbiología		
Coliformes totales (NMP/100 ml)	5	<1,8
Escherichia coli (Presencia/Ausencia)	Ausencia	Ausencia
Físico-Química		
Turbiedad (L) (NTU)	2	<0,4

Parámetros Tipo IV. Requisitos de calidad para parámetros organolépticos
Tabla 7. Parámetros relativos a características organolépticas

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Físico-Química		
* Temperatura (T) (°C)	--	13,4
Cloro residual (T) (mg/L)	0,2 < M <2	0,29
Color verdadero (Pt-Co)	20	<5
Olor	inodoro	Inodoro
pH a * °C (T) (Unidades pH)	6.5 < M <8.5	7,33
Sabor	Insípido	Insipido

M = Muestra
(*)Límite máximo según Norma Chilena 409/1.Of2005. Agua potable parte 1: Requisitos

Tiempo de Almacenamiento para Olor y Sabor: 06 hrs 40 min

SILVIA ROSA DIAZ ARAYA
www.ripit.cl
Firmado digitalmente por SILVIA ROSA DIAZ ARAYA (CN): c=CL, email=s.diaz@silobchile.cl, fecha=27-09-2024 10:44:01

Silvia Díaz Araya
Encargado Laboratorio de aguas
SILOB CHILE

Silob Chile es responsable sólo por los valores analíticos de las muestras analizadas
Este informe no puede ser reproducido, en forma parcial o total, sin la aprobación escrita del Laboratorio
El presente Informe de Ensayo no puede ser presentado ante la SMA

Javiera Carrera 839 - Casilla 1225 - Teléfono (56) 3221 890 00 - Valparaiso - Chile
Oficinas de Atención: Arica - Iquique - Coquimbo - Valparaíso - Santiago - Puerto Montt - Punta Arenas
E-mail:siloblaboratorio@silobchile.cl - www.silobchile.cl

Anexo H. Informe de ensayo de agua potable del mes de octubre.

Silob Chile

INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE
(RS 14.15)

Versión digital

Fecha emisión informe : **06/11/2024**
Entidad/dirección : Silob Chile, Javiera Carrera 839, Valparaíso, V Región
Informe número: : **A7184.2024** Identificación : 1 original
Cliente : **Comité APR Las Palmas, Llay-Llay** Dirección Cliente : **Las Palmas S/N, Llay-Llay**

CARACTERISTICAS MUESTRA
Muestra : Agua de pozo potabilizada
Plan / Método muestreo : Definido por el Cliente / PS08 Rev.77 - IS112 Rev.10 basados en NCh409/2:2004
Identificación y tamaño de la muestra : M1 = Llave lavamanos, baño

Entidad Muestreadora : Silob Chile **Laboratorio**
Fecha y hora Muestreo : 18 de Octubre de 2024 / 10:15 a 10:25 h Fecha y hora Ingreso Laboratorio: 18 de Octubre de 2024 / 16:32 h
Lugar toma de muestra : Las Palmas 28 LLay LLay. Socia: Andrea Muñoz
Tipo de envase : Vidrio y Plástico según corresponda
Desviación al Procedimiento especificado en esta Norma: SÍ NO: X

Parámetros Examinados

Parámetros	Identificación Método de ensayos	Preservante	Acreditación por INN	Fecha y hora inicio análisis	Fecha y hora término análsis
Microbiología					
Coliformes totales (NMP/100 ml)	NCh1620/1:2020	Na2S2O3	LE 045	18/10/2024 17:00	20/10/2024 17:20
Escherichia coli (Presencia/Ausencia)	ME-01-2007 SISS 2007	Na2S2O3	LE 045	18/10/2024 17:00	20/10/2024 17:20
Físico-Química					
* Temperatura (T) (°C)	SM 24th Edition Método 2550-B	-- --	OI 251	18/10/2024 10:15	18/10/2024 10:25
Cloro residual (T) (mg/L)	IS58 basado en kit de terreno	-- --	OI 251	18/10/2024 10:15	18/10/2024 10:25
Color verdadero (Pt-Co)	ME-24-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	18/10/2024 17:00	18/10/2024 18:00
Olor	ME-25-2013 SISS 2013	S/P	LE 106	18/10/2024 17:00	18/10/2024 19:00
pH a * °C (T) (Unidades pH)	ME-29-2007 SISS 2007	-- --	LE 106	18/10/2024 10:15	18/10/2024 10:25
Sabor	ME-26-2013 SISS 2013	S/P	LE 106	18/10/2024 17:00	18/10/2024 19:00
Turbiedad (L) (NTU)	ME-03-2007 SISS 2007	S/P	LE 106	18/10/2024 17:00	18/10/2024 18:00

S/P: Sin preservante (T): Terreno N/A: No Acreditado Muestreo Acreditado para los Ensayos Acreditados

RESULTADOS
Parámetros Tipo I. Microbiológicos y Turbiedad

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Microbiología		
Coliformes totales (NMP/100 ml)	5	<1,8
Escherichia coli (Presencia/Ausencia)	Ausencia	Ausencia
Físico-Química		
Turbiedad (L) (NTU)	2	2

Parámetros Tipo IV. Requisitos de calidad para parámetros organolépticos
Tabla 7. Parámetros relativos a características organolépticas

ENSAYOS	Límite Máximo(*)	M1
Físico-Química		
* Temperatura (T) (°C)	--	15,5
Cloro residual (T) (mg/L)	0,2 < M <2	0,67
Color verdadero (Pt-Co)	20	<5
Olor	inodoro	Inodoro
pH a * °C (T) (Unidades pH)	6.5 < M <8.5	7,22
Sabor	Insípido	*

M = Muestra
(*)Limite máximo según Norma Chilena 409/1.Of2005. Agua potable parte 1: Requisitos

Tiempo de Almacenamiento para Olor y Sabor: 06 hrs 35 min
* Debido las características de la muestra no se puede realizar el análisis.

SILVIA ROSA DIAZ ARAYA
www.ripit.cl
Firmado digitalmente por SILVIA ROSA DIAZ ARAYA (CN): c=CL, email=s.diaz@silobchile.cl, fecha=06-11-2024 15:19:21

Silvia Díaz Araya
Encargado Laboratorio de aguas
SILOB CHILE

Silob Chile es responsable sólo por los valores analíticos de las muestras analizadas
Este informe no puede ser reproducido, en forma parcial o total, sin la aprobación escrita del Laboratorio
El presente Informe de Ensayo no puede ser presentado ante la SMA

Anexo I. Recopilación de afiches elaborados durante el taller.



Anexo J. Calendario de recambios.

Cartuchos iniciales		30
Cartuchos usados por recambio		3
Evento	**Fecha**	**Cartuchos restantes**
Instalación inicial	09-nov-2024	27
Recambio 1	06-mar-2025	24
Recambio 2	09-jul-2025	21
Recambio 3	09-nov-2025	18
Recambio 4	09-mar-2026	15
Recambio 5	09-jul-2026	12
Recambio 6	09-nov-2026	9
Recambio 7	09-mar-2027	6
Recambio 8	09-jul-2027	3
Recambio 9	09-nov-2027	0

Anexo K. Cartel informativo.



Anexo L. Primera encuesta (línea base).

Encuesta n.º1: Esta es la primera encuesta, realizada antes de la instalación del sistema de filtración. Su objetivo es obtener la percepción inicial de la calidad del agua en la escuela.							
Rol (Alumno, profesor, auxiliar, asistente de la educación, etc.)							
Categoría	**Pregunta**	**Muy en desacuerdo**	**En desacuerdo**	**Ni de acuerdo ni en desacuerdo**	**De acuerdo**	**Muy de acuerdo**	**No sabe / No responde**
Percepción de la calidad	**El sabor del agua que consumo en la escuela es agradable.**						
Percepción de la calidad	**El agua de la escuela se ve clara y sin impurezas.**						
Percepción de la calidad	**No noto olores o sabores extraños en el agua de la escuela.**						
Confianza y seguridad	**Me siento seguro/a consumiendo el agua de los bebederos de la escuela.**						
Satisfacción	**Estoy satisfecho/a con la calidad del agua disponible actualmente en la escuela.**						
Comentarios							

Anexo M. Segunda encuesta (Puesta en marcha).

Encuesta n.°2: Esta es la segunda encuesta, realizada después de la instalación del sistema de filtración. Su objetivo es evaluar cualquier cambio percibido en la calidad del agua y obtener una primera impresión de la comunidad escolar sobre el impacto del filtro.							
Rol (Alumno, profesor, auxiliar, asistente de la educación, etc.)							
Categoría	**Pregunta**	**Muy en desacuerdo**	**En desacuerdo**	**Ni de acuerdo ni en desacuerdo**	**De acuerdo**	**Muy de acuerdo**	**No sabe / No responde**
Percepción de la calidad	**El sabor del agua que sale de la llave conectada al filtro es agradable.**						
Percepción de la calidad	**El agua que sale de la llave conectada al filtro no tiene olores o sabores extraños.**						
Percepción de la calidad	**La instalación del filtro ha mejorado la calidad del agua en la escuela.**						
Satisfacción	**Estoy satisfecho/a con la calidad del agua que se obtiene de la llave conectada al filtro.**						
Satisfacción	**Percibo una mejora en el sabor del agua que proviene de la llave con agua filtrada tras la instalación del filtro.**						
Confianza y seguridad	**Me siento más seguro/a y confiado/a al beber agua de la llave conectada al filtro en la escuela.**						
Comentarios							

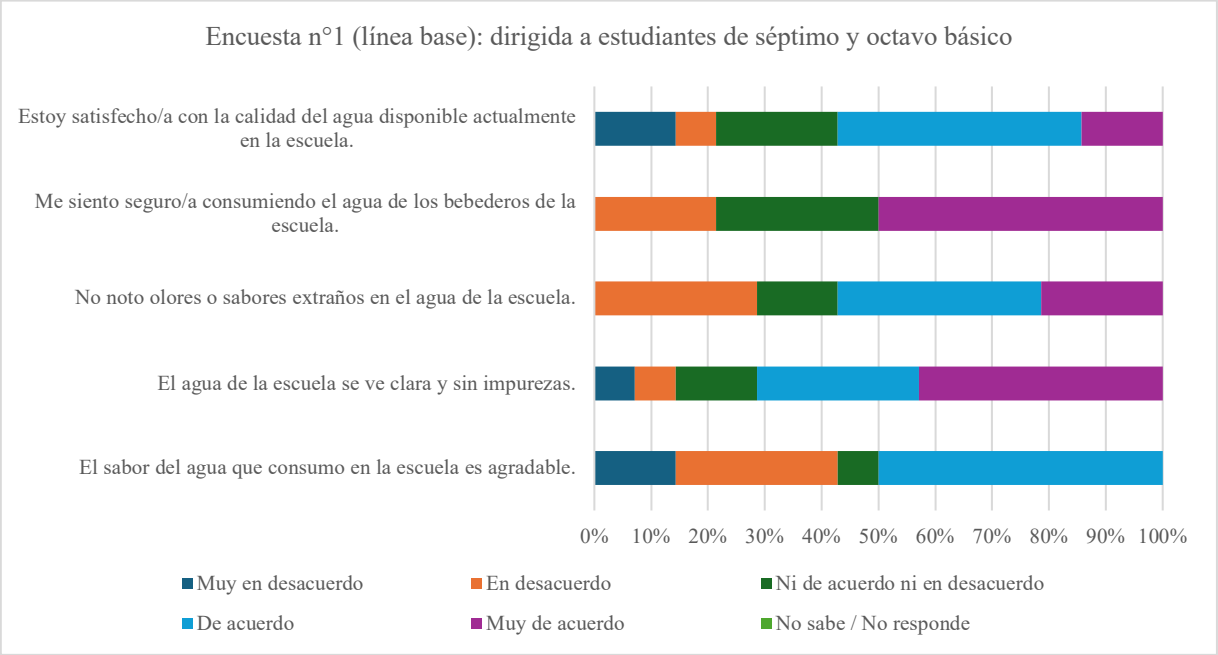
Anexo N. Tercera encuesta (Seguimiento).

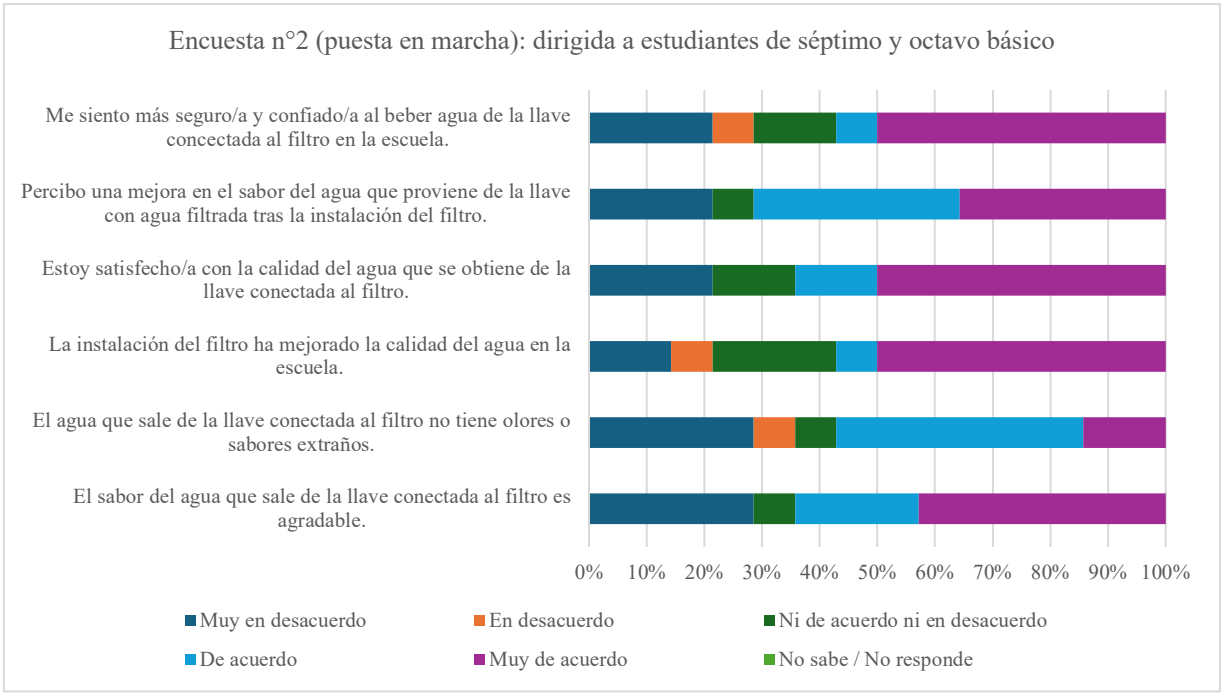
Encuesta n.°3: Esta es la tercera encuesta, realizada después de tres meses de uso del sistema de filtración. Su objetivo es evaluar la percepción de la comunidad escolar sobre el impacto del filtro a lo largo del tiempo, la percepción de la calidad del agua con el filtro instalado y recopilar sugerencias para posibles mejoras.							
Rol (Alumno, profesor, auxiliar, asistente de la educación, etc.)							
Categoría	**Pregunta**	**Muy en desacuerdo**	**En desacuerdo**	**Ni de acuerdo ni en desacuerdo**	**De acuerdo**	**Muy de acuerdo**	**No sabe / No responde**
Percepción de la calidad	El sabor del agua que sale de la llave conectada al filtro es agradable después de tres meses de uso del filtro.						
Percepción de la calidad	No noto olores o sabores extraños en el agua que sale de la llave conectada al filtro después de tres meses de uso del filtro.						
Percepción de la calidad	La instalación del filtro ha mejorado la calidad de agua en la escuela.						
Satisfacción	Estoy satisfecho/a con la calidad del agua que se obtiene de la llave conectada al filtro.						
Satisfacción	Percibo una mejora en el sabor del agua que proviene de la llave conectada al filtro después de tres meses de uso del filtro.						
Satisfacción	Considero que el filtro ha tenido un impacto positivo en la escuela.						
Satisfacción	Recomendaría continuar utilizando este sistema de filtración en la escuela.						
Funcionamiento del filtro	El filtro ha funcionado de manera adecuada durante estos tres meses.						
Confianza y seguridad	Me siento más seguro/a y confiado/a al beber agua de la llave conectada al filtro en la escuela.						
Comentarios y/o sugerencias							

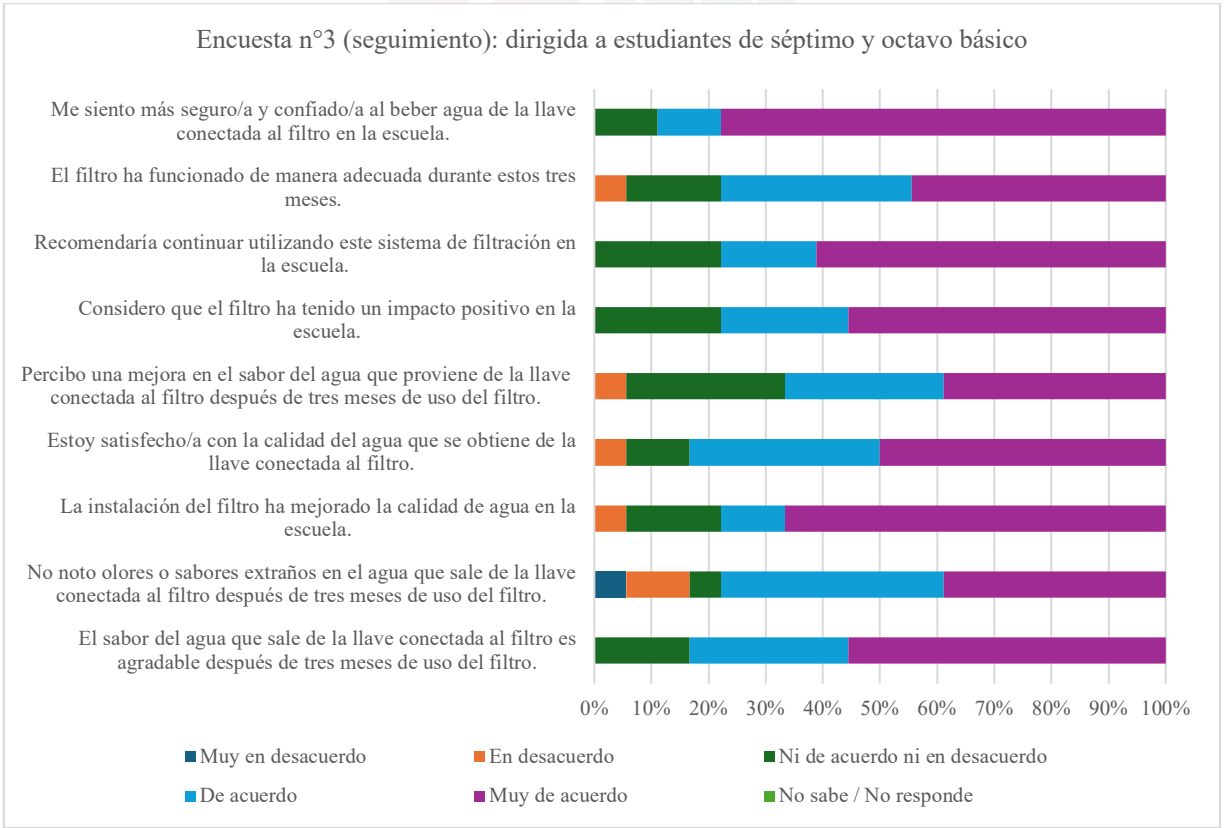
Anexo O. Cantidad de respuestas por grupo y por encuesta.

Encuesta	Cantidad de respuestas de profesores, asistentes de la educación, auxiliares y director	Cantidad de respuestas de estudiantes	Total de respuestas
Encuesta 1 (Línea base)	8	14	**22**
Encuesta 2 (Puesta en marcha)	8	14	**22**
Encuesta 3 (Seguimiento)	8	18	**26**

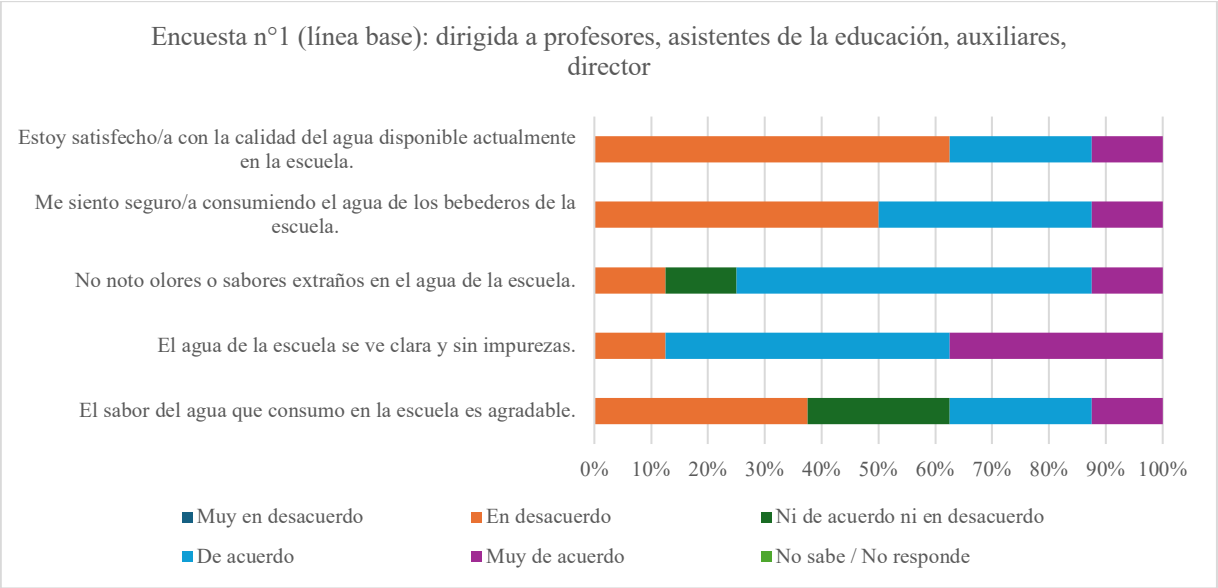
Anexo P. Resultados de primera, segunda y tercera encuesta dirigida a estudiantes de séptimo y octavo básico.

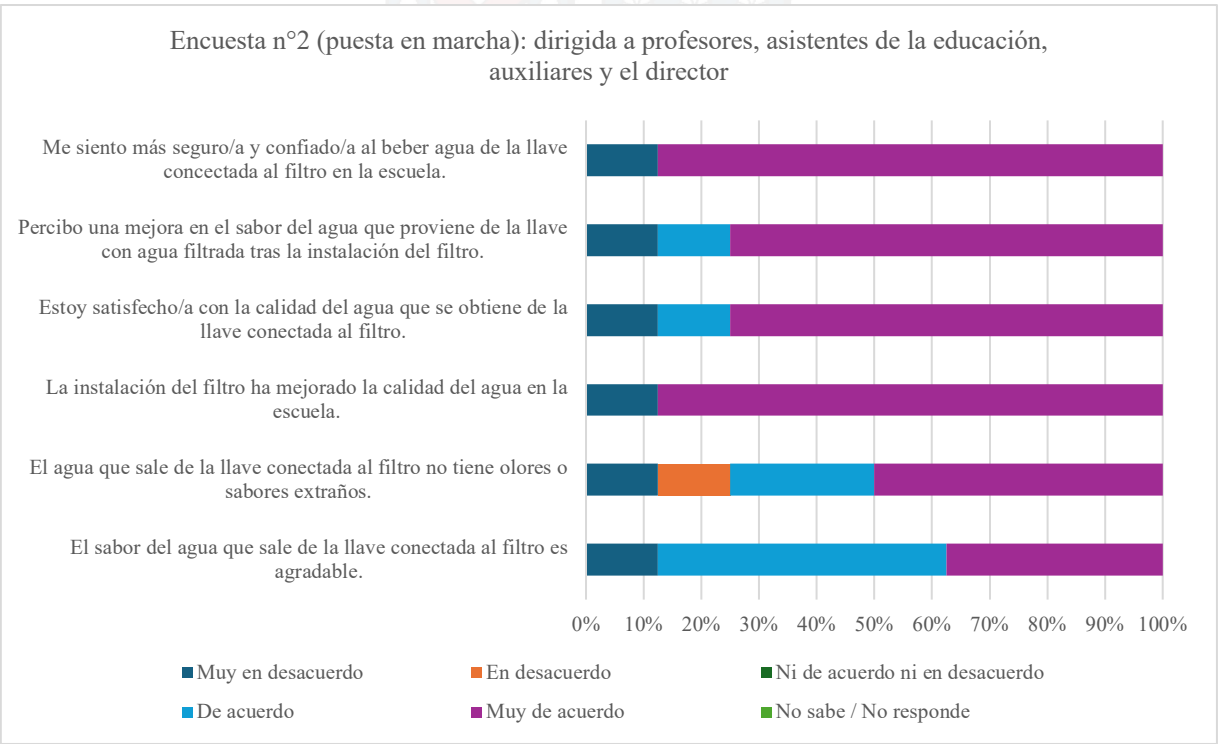


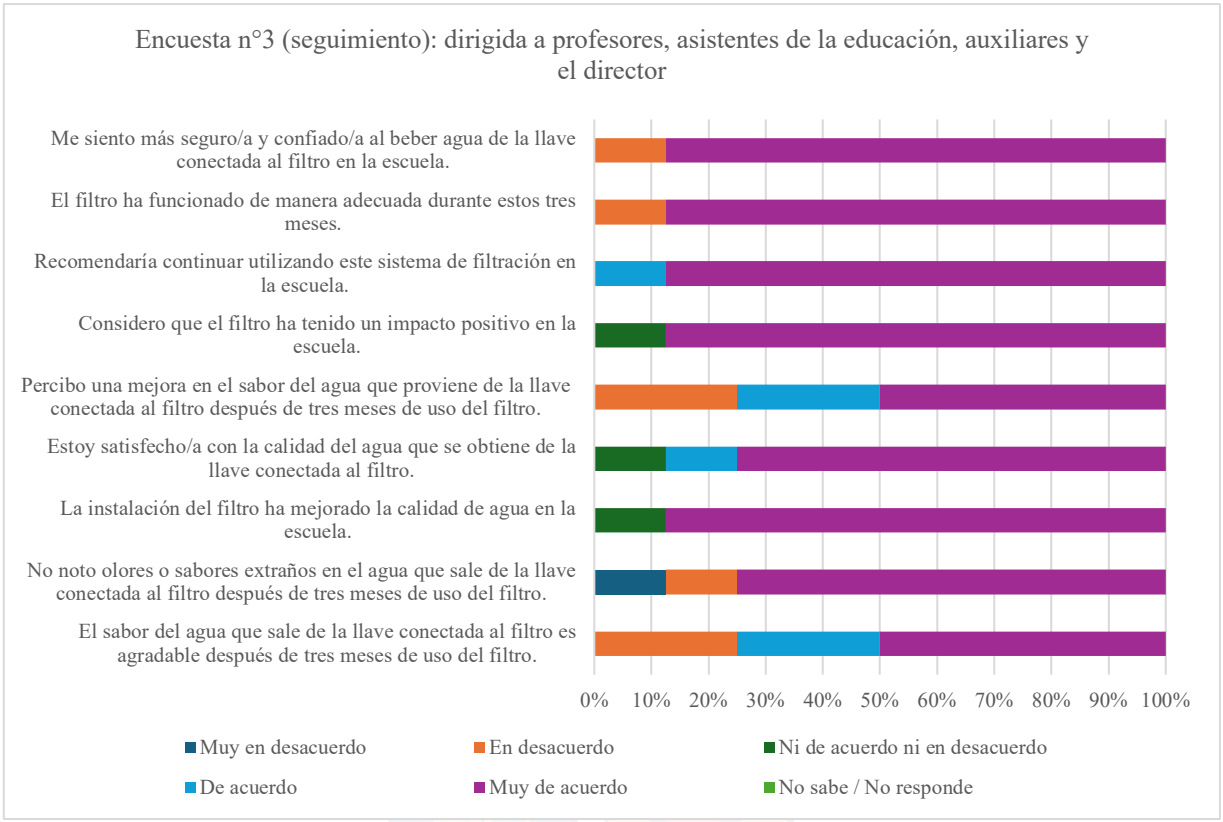

Encuesta n°2 (puesta en marcha): dirigida a estudiantes de séptimo y octavo básico
Me siento más seguro/a y confiado/a al beber agua de la llave concectada al filtro en la escuela.
Percibo una mejora en el sabor del agua que proviene de la llave con agua filtrada tras la instalación del filtro.
Estoy satisfecho/a con la calidad del agua que se obtiene de la llave conectada al filtro.
La instalación del filtro ha mejorado la calidad del agua en la escuela.
El agua que sale de la llave conectada al filtro no tiene olores o sabores extraños.
El sabor del agua que sale de la llave conectada al filtro es agradable.
0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%
Muy en desacuerdo
En desacuerdo
Ni de acuerdo ni en desacuerdo
De acuerdo
Muy de acuerdo
No sabe / No responde


Encuesta n°3 (seguimiento): dirigida a estudiantes de séptimo y octavo básico
Me siento más seguro/a y confiado/a al beber agua de la llave conectada al filtro en la escuela.
El filtro ha funcionado de manera adecuada durante estos tres meses.
Recomendaría continuar utilizando este sistema de filtración en la escuela.
Considero que el filtro ha tenido un impacto positivo en la escuela.
Percibo una mejora en el sabor del agua que proviene de la llave conectada al filtro después de tres meses de uso del filtro.
Estoy satisfecho/a con la calidad del agua que se obtiene de la llave conectada al filtro.
La instalación del filtro ha mejorado la calidad de agua en la escuela.
No noto olores o sabores extraños en el agua que sale de la llave conectada al filtro después de tres meses de uso del filtro.
El sabor del agua que sale de la llave conectada al filtro es agradable después de tres meses de uso del filtro.
0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%
Muy en desacuerdo
En desacuerdo
Ni de acuerdo ni en desacuerdo
De acuerdo
Muy de acuerdo
No sabe / No responde

Anexo Q. Resultados de primera, segunda y tercera encuesta dirigida a profesores, asistentes de la educación, auxiliares y el director.







Anexo R. Imagen de la medición de cloro libre.

