

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**



TESIS:

**Evaluación del uso del agua gris y pluvial en la
sostenibilidad del agua potable de la ciudad de
Ayacucho**

Para optar el grado académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:
Bach. Isai LIMACO CARPIO

ASESOR:
Mg. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

En gratitud le dedico este trabajo de investigación, a mis abuelos: Lucas Carpio Infante, Melchora Vargas Laura, Mario Límaco Anyosa y Clara Guillén Naria. A mis padres Ángel Límaco Guillén y Doris Carpio V. A mis hermanos: el ing. Eleazar y el economista Josué. A mi hija Saori Brilins Límaco Godoy y su madre Galy. También para Lila, Pincel y Blanca por su amor y apoyo perseverante en mi desarrollo personal.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento infinito a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y su fundador al ilustre obispo Don Cristóbal de Castilla y Zamora, a los docentes y trabajadores administrativos de la facultad de Ingeniería Química y Metalurgia por brindarme las condiciones adecuadas para el desarrollar mis conocimientos académicos.

A mis compañeros Herlis Huallpa, Yanett Navarro, Orlando Cundia, Mery Mallico, Alfonso Martinez, Junior Ochoa, Edwin Gomez, Seishin Curo, Sonia, Angie, Marlen, Michael, Víctor, Nely entre otros, estudiante de la maestría de Ingeniería Ambiental de la promoción Covid por compartir sus experiencias y conocimientos durante el desarrollo de los cursos.

De la misma forma agradecer a mi asesor al ing. Abrahán Trejo Espinoza por brindar las pautas y sugerencias para la investigación de esta tesis, también agradecer a los ingenieros Edgar Aronés, Fernando Pérez Chauca, Cipriano Mendoza, Gloria Inés Barboza, Nilo Juscamayta, Guido Palomino y Tarcila Alcarraz por brindarme aportes para la ejecución de mi proyecto de investigación. Gracias y que Dios les bendiga.

ÍNDICE	Pag.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRAC.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Problema principal.....	3
1.2.2. Problemas secundarios.....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. Hipótesis general.....	4
1.4.2. Hipótesis específica.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.6.1. Espacial.....	5
1.6.2. Temporal	5
1.6.3. Social	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1.1. Internacional.....	6
2.1.2. Nacional	8
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. Sostenibilidad	9
2.2.2. Agua gris.....	13
2.2.3. Sistema del uso de agua gris	15
2.2.4. Sistema de uso de agua de lluvia	15
2.2.5. Reutilización de agua en sanitarios	16

2.2.6.	Sistema de filtración del agua gris	17
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	18
2.3.1.	Agua potable	18
2.3.2.	Agua gris	18
2.3.3.	Agua de lluvia.....	18
2.3.4.	Agua negra.....	18
2.3.5.	Precipitación puvial.....	19
2.3.6.	Sedimentador.....	19
2.3.7.	Trampa de sólidos flotantes.....	19
2.3.8.	Prefiltro de grava	19
2.3.9.	Filtro lento de arena.....	19
2.3.10.	Turbiedad (unidad nefelométrica de turbidez= NTU)	19
2.3.11.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ =mg/L-O ₂).....	20
2.3.12.	Sólidos totales en suspensión (SST=mg/L)	20
2.3.13.	Potencial de hidrógeno (pH).....	20
2.3.14.	Sostenibilidad	20
2.3.15.	Sostenibilidad del agua potable.....	20
2.4.	MARCO LEGAL	20
2.4.1.	Nacional	20
2.4.2.	Internacional.....	21
CAPÍTULO III		23
DISEÑO METODOLÓGICO		23
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	23
3.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	23
3.3.1.	Población	23
3.3.2.	Muestra	24
3.3.3.	Muestreo	24
3.4.	VARIABLES E INDICADORES	24
3.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	25
3.6.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	25
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos.....	25
3.6.2.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	26
3.7.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	26
3.7.1.	Caudal disponible y de demanda del agua gris	26
3.7.2.	Sistema de filtración del agua gris	28

CAPÍTULO IV.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIONES	38
5.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA GRIS	38
5.2. SISTEMA DE FILTRACIÓN Y CAPTACIÓN PLUVIAL	41
5.3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA FILTRADA.....	45
5.4. SOSTENIBILIDAD DEL AGUA EN LA CIUDAD DE AYACUCHO	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Recopilación de características del agua gris de los diferentes países.....	14
Tabla 2	Criterio de selección del sistema de filtración	17
Tabla 3	Velocidad de filtración en función de etapas.....	18
Tabla 4	Parámetros del agua gris de usos urbanos.....	21
Tabla 5	Recopilación de parámetros de calidad para uso de agua gris de los diferentes países	22
Tabla 6	Operacionalización de variables	25
Tabla 7	Consumo medio de agua potable por persona	27
Tabla 8	Consumo promedio aproximado por familia por piso del edificio	27
Tabla 9	Características de las cámaras del prefiltro	29
Tabla 10	Promedio de tamaño de la partícula filtrante y altura del lecho	31
Tabla 11	Coefficiente de escurrimiento	32
Tabla 12	Área de captación de la precipitación pluvial	33
Tabla 13	Costo del sistema de uso de agua pluvial.....	36
Tabla 14	Costo de sistema de uso del agua gris	37
Tabla 15	Resultados de análisis del agua gris de la ciudad de Ayacucho	38
Tabla 16	Periodo de filtración del agua y parámetros analizados para el volumen acumulado	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sostenibilidad económica, social y ambiental.....	10
Figura 2	Uso sostenible del agua	12
Figura 3	Diferencia entre agua gris clara y oscura.....	14
Figura 4	Esquema del sistema de captación pluvial	16
Figura 5	Plano del sedimentador del agua gris.....	28
Figura 6	Perfil de las cámaras del prefiltro	29
Figura 7	Dimensiones de filtro lento	31
Figura 8	Sistema de captación pluvial	34
Figura 9	Sistema de uso del agua gris y pluvial.....	35
Figura 10	Máximo y mínimo de sólidos suspendidos totales para diferentes países	39
Figura 11	Máximo y mínimo de la demanda bioquímica de oxígeno para diferentes países	40
Figura 12	Máximo y mínimo del potencial de hidrógeno para diferentes países	40
Figura 13	Sistema de filtración del agua gris y sistema de captación pluvial	41
Figura 14	Periodo de filtración de sólidos suspendidos totales del agua gris.....	43
Figura 15	Periodo de filtración de la turbiedad del agua gris	44
Figura 16	Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales y turbiedad	46
Figura 17	Prototipo con captación, bomba, red de tuberías y accesorios	56
Figura 18	Filtro con materiales de diferentes diámetros	56
Figura 19	Despiece interceptor de primeras lluvias	57
Figura 20	Plano de captación de agua gris y distribución de agua filtrada.....	58
Figura 21	Detalles del sistema de filtración del agua gris y captación pluvial	59
Figura 22	Fotos de construcción de sistema de filtración del agua gris	60

RESUMEN

El objetivo del presente estudio ha permitido evaluar el uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho, que es importante para enfrentar el problema de déficit hídrico y dar el uso responsable en el presente sin comprometer las generaciones futuras, en este estudio se diseñó el sistema de filtración del agua gris y el sistema de captación pluvial, también se determinó las características físicas y químicas del agua gris y filtrada para disponer de agua en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho.

La investigación que se ha desarrollado es de tipo aplicada y de nivel descriptiva, con diseño no experimental, realizado en una edificación de 4 pisos con un baño por piso, que cuenta con un sistema de captación independiente y tratamiento de 550 L de agua gris en un sedimentador + prefiltro + filtro lento de arena conectada a un tanque de almacenamiento de 1100 litros y un área de 25 m² de techo de captación pluvial seguida de una canaleta hacia un interceptor de primeras lluvias y almacenamiento en el mismo tanque para luego distribuir a los sanitarios de la edificación.

El resultado del estudio determinó que inicialmente el agua gris presenta una turbiedad de 482 NTU, sólidos suspendidos totales de 299,95 mg/L y pH de 5,56, luego del proceso de filtración la concentración de la turbiedad disminuyó hasta 166,38 NTU y los sólidos suspendidos hasta 58,38 mg/L, con una remoción máxima de turbiedad de 65,48 % y sólidos suspendidos totales de 80,54 % durante la filtración hasta la colmatación del lecho del filtro en 60 días.

También se determinó que el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en la sostenibilidad de agua potable con un volumen de 15 m³ no consumida de la red pública, promoviendo nuevas instalaciones en la zona de déficit hídrica y fomentando la disminución en el impacto ambiental por la reutilización del agua gris.

Palabras clave: uso del agua gris y pluvial, sostenibilidad del agua.

ABSTRAC

The objective of this study has allowed to evaluate the use of gray and rainwater in the sustainability of drinking water in the city of Ayacucho, which is important to face the problem of water deficit and to give responsible use in the present without compromising future generations, in this study the gray water filtration system and the rainwater harvesting system were designed, the physical and chemical characteristics of gray and filtered water were also determined to have water in the toilets in the city of Ayacucho.

The research that has been developed is of an applied type and descriptive level, with a non-experimental design, carried out in a 4 story building with one bathroom per floor, which has an independent collection system and treatment of 550 L of gray water in a settler + prefilter + slow sand filter connected to a 1100 liter storage tank and an area of 25 m² of rainwater collection roof followed by a gutter towards an interceptor of first rains and storage in the same tank to then distribute to the building's toilets.

The result of the study determined that initially the grey water had a turbidity of 482 NTU, total suspended solids of 299.95 mg/L and pH of 5.56, after the filtration process the turbidity concentration decreased to 166.38 NTU and suspended solids to 58.38 mg/L, with a maximum turbidity removal of 65.48 % and total suspended solids of 80.54 % during filtration until the filter bed was clogged in 60 days.

It was also determined that the use of grey and rainwater influences the sustainability of drinking water with a volume of 15 m³ not consumed from the public network, promoting new facilities in the water-deficit area and encouraging a reduction in environmental impact through the reuse of grey water.

Keywords: use of gray and rainwater, water sustainability.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de prevención del déficit hídrico con el uso del agua gris y pluvial, para conservar la sostenibilidad del agua, cuyo fin es reducir la demanda de agua y contribuir al uso eficiente del agua potable, para analizar el tema es necesario saber que el impacto del cambio climático y el aumento de la población en las zonas urbanas ha influido negativamente en el acceso al servicio de agua potable, como también el abastecimiento ha disminuido, cabe señalar que el 33,7 % cuenta con el agua potable por horas y el 2,2 % accede entre 18 y 23 horas al día (INEI, 2020).

(GORE, 2018) indica que el 18,79 % del ámbito urbano recién establecidas, no tiene acceso al agua en la ciudad de Ayacucho, cuyo tasa de crecimiento poblacional promedio anual es de 2,5 %, lo cual en el futuro se incrementará la demanda de agua potable, provocando déficit hídrica extrema, que llevará a construir nuevas infraestructuras de captación de agua, con la finalidad de disminuir la demanda de agua, la presente investigación abarca el efecto del usos del agua pluvial y del agua gris en la sostenibilidad de agua potable en la ciudad de Ayacucho, el propósito del estudio es presentar una propuesta de instalación de un sistema de uso del agua gris y pluvial en una edificación, con el tratamiento por filtración del agua gris y uso en los sanitarios, riego de áreas verdes, entre otras, como lo están promoviendo en otros países con parámetros de calidad ya establecidas.

El objetivo general de la presente investigación es evaluar el uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho, para ello se tuvo los objetivos específicos de determinar las características del agua gris, diseñar el sistema de filtración del agua gris y el sistema de captación pluvial, determinar las características del agua filtrada para el uso en la descarga de los sanitarios y en qué medida el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Según el Banco Mundial, para el año 2050 alrededor del 36 % de la población mundial vivirá en zonas de escasez hídrica, porque de toda el agua que se encuentra en la tierra, solo el 2,5 % de agua que está en los nevados, lagunas, ríos, entre otros es para el consumo humano. El problema de la disminución de agua para el consumo humano es por el efecto del calentamiento global y el incremento de la población en zonas con déficit hídrica o zonas con presencia de fuentes de agua, pero con alta contaminación, con alta demanda del agua por la agricultura y la mala disposición y uso ineficiente en las actividades de la población (Banco Mundial, 2020). También menciona que el agua es una necesidad para mantener una calidad de vida adecuada y según Naciones Unidas, una persona necesita al menos 20 L a 50 L de agua potable al día para ingerir, preparar sus alimentos y la limpieza. Pero en algunas zonas del Perú y el mundo la dotación de agua es por camiones cisterna, piletas y otras formas de abastecimiento, muchas veces con impurezas a elevados costos por metro cúbico.

Entre mayo del año 2019 y abril del 2020, el 90,8 % de la población urbana accede al agua potable, de esta población urbana, el 85,5 % cuenta con agua de red pública

en el interior de su vivienda, el 4 % cuenta con agua fuera de su vivienda y el 1,3 % cuenta con el agua en pilones públicos (INEI, 2020).

En la zona urbana del total de la población que accede a la red pública, el 33,7 % cuenta con el agua potable por horas, el 8,3 % accede al agua entre 1 h y 3 h al día, el 10,0 % accede entre 4 h y 7 h , el 8,4 % accede entre 8 h y 12 h, el 4,7 % accede entre 13 h y 14 h y el 2,2 % accede entre 18 h y 23 horas al día (INEI, 2020).

(GORE, 2018) En el plan regional de saneamiento 2018 – 2021, describe que en el ámbito urbano el 18,79 % no tiene acceso al agua potable en las zonas que están sobre el nivel de la planta de tratamiento de agua potable de Quicapata del servicio de Agua potable y alcantarillado de Ayacucho S.A. SEDA, cabe señalar que las localidades de Huaschura, Mollepata y anexos cuentan con el servicio de agua potable derivada de la planta de tratamiento de agua potable de Cabrapata, que entró en funcionamiento el año 2020 como medida de asegurar la salud pública frente a las consecuencias del COVID-19.

También el cambio climático y el aumento de la demanda de agua por la agricultura aledañas a la fuente de agua y canal de conducción, ha influido en la disminución del caudal de abastecimiento desde la fuente de presa Cuchoquesera para la ciudad de Ayacucho y los distritos de San Juan Bautista , Jesús Nazareno, Carmen Alto y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray de la provincia de Huamanga cuya tasa de crecimiento poblacional promedio anual es de 2,5 %.

De continuar esta situación de la disminución hídrica en la provincia de Huamanga por el efecto del cambio climático y el aumento de la demanda de agua potable por el incremento de la población, se producirá el déficit hídrico poniendo en peligro la salud pública, con impactos negativos en el medio ambiente.

Para contrarrestar el problema de déficit hídrico se plantea el uso del agua gris y pluvial en las viviendas para mantener la sostenibilidad del agua potable en el tiempo, en la ciudad de Ayacucho.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

¿Cómo evaluar el uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho?

1.2.2. Problemas secundarios

- a) ¿Cuáles son las características físico y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho?
- b) ¿Cuál sería el diseño del sistema de filtración del agua gris y el sistema de captación pluvial para disponer de agua en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho?
- c) ¿Cuáles son las características físico y químicas del agua filtrada para disponer de agua en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho?
- d) ¿En qué medida el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar las características físico y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho.
- b) Diseñar el sistema de filtración del agua gris y el sistema de captación pluvial para disponer de agua en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho.
- c) Determinar las características físico y químicas del agua filtrada para disponer de agua en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho.
- d) Determinar en qué medida el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

El uso del agua gris y pluvial permitirá la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho.

1.4.2. Hipótesis específica

- a) Las características físico y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho no están dentro de las especificaciones del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y la regulación internacional de parámetros del agua gris de uso urbano.
- b) El diseño del sistema de filtración del agua gris y el sistema de captación pluvial permite disponer de agua para satisfacer la demanda en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho.
- c) Las características físico y químicas del agua filtrada están dentro de los parámetros internacionales de sólidos suspendidos totales ($SST \leq 10 \text{ mg/L}$), turbiedad ($To \leq 5 \text{ NTU}$) y pH (5 a 9,5), para disponer de agua en los sanitarios.
- d) El aprovechamiento del agua gris y pluvial influye positivamente en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se lleva a cabo, porque el agua apta par el consumo humano está disminuyendo por el cambio climático, por la contaminación del agua, uso del agua en la agricultura intensiva y la mala disposición del agua potable en otras actividades. También, porque el agua proveniente de la precipitación pluvial no esta siendo aprovechado y el agua gris proveniente de las duchas y lavado de manos se pueden utilizar luego de un previo tratamiento, para cubrir la demanda de agua por el equipo sanitario, riego de jardines y otros usos.

El desarrollo de la investigación esta basado en cubrir la demanda de agua potable, con el uso del agua pluvial y gris previamente tratada mediante sistema de filtración. El resultado del estudio del uso del agua gris y pluvial permitirá la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho y brindar agua a los sectores marginales que aumenta su población y no cuentan con agua para cubrir sus necesidades.

También este estudio servirá para la elaboración de proyectos de construcción de edificios para vivienda, oficinas, centros educativos, hoteleros entre otras, con el sistema de aprovechamiento del agua gris y pluvial, con la finalidad de hacer el uso sostenible del agua potable, con la finalidad de conservar el agua para las futuras generaciones y garantizar el desarrollo económico en armonía con el medio ambiente.

1.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.6.1. Espacial

La investigación dispuso de un modelo de vivienda residencial de 4 pisos del área de estructuración urbana del departamento de Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito de San Juan Bautista, urbanización barrio San Melchor, dirección Av. Cuzco 1215, cuya coordenada de este y norte es de 587025,5569 y 8543372,5927 respectivamente, a una altitud de 2610 m.s.n.m.

1.6.2. Temporal

El periodo de la investigación se realizó durante los meses de octubre de 2023 a julio del 2024.

1.6.3. Social

Esta investigación brinda una alternativa de ahorro de agua potable para ciudades que tienen o tendrán problemas de déficit hídrica, quiere decir, que el agua pluvial y el agua gris sometido a una filtración hasta obtener la calidad adecuada, es apta para el uso en descargas de sanitarios, urinarios, lavado de carros, limpieza de pisos cerámicos y riego de áreas verdes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacional

En primer lugar, Cadena & Carcelén (2021) plantean un diseño de un sistema de reutilización de aguas grises para las descargas de inodoros y riego de jardín, con el objetivo principal de usar las aguas provenientes del lavamanos, lavadora, ducha y aguas pluviales. En el estudio indica que, si la dotación de una persona es en promedio de 200 litros por día, la parte del lavado de manos, prendas y ducha recircularía a las descargas del inodoro, para ello plantean un sistema de recolección, tratamiento primario, almacenamiento y finalmente dotar a los tanques de inodoros mediante un sistema de presurización de una bomba hidráulica y un tanque hidroneumático. Para el diseño tomaron la información detallada del hogar, dimensionaron el filtro natural de grava 3 mm, arena gruesa 0,5 mm y arena fina 0,25 mm con profundidad descendente de 20 cm, 20 cm y 10 cm respectivamente, el agua filtrada es almacenada en un tanque con sus respectivas tuberías de distribución conectadas al tanque hidroneumático. Aplicado este sistema, el investigador obtuvo un ahorro considerable de agua y menor cantidad de agua contaminada hacia el sistema de alcantarillado con un ahorro económico por el consumo de agua potable.

Herrera & García (2021) presentan un proyecto de diseño de un prototipo de sistema de reutilización de aguas grises en el inodoro, con el agua proveniente de la ducha para disminuir la huella hídrica y que además sea viable económicamente y eficiente. Los tesistas instalan el prototipo en el baño de una edificación, como se muestra en la figura 17 del anexo 1, al tratar y almacenar 65 litros de agua gris en el prototipo y luego usar 10 litros por descarga en el inodoro, se verifica que el agua almacenada podría cubrir hasta 6 descargas en un hogar convencional de 3 a 4 personas, representado un ahorro aproximado de 60 litros de agua potable por día, y de 20 mil litros de agua potable al año.

En esta línea de investigación en Colombia, Wilman A. Ortiz Forero y Willian D. Velandia Bernal (2017) presentan una tesis de “Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua”. En la investigación propone la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua, con el cual se realiza la captación y el almacenamiento de la misma al estar directamente a la intemperie, de este modelo el investigador obtuvo datos reales, con estos datos se hizo el cálculo hidráulico de conducción y distribución, de tal forma, obtener los resultados para la aplicación del cálculo de la ruta crítica, la cual dio conocer diámetros, caudales, velocidad, presiones mínimas y máximas de servicio para la captación y uso de agua de lluvia.

En esta misma labor de investigación se encontró la tesis de Darío Javier Bermúdez Andrade (2018) cuyo título es “Eficiencia hídrica en edificios no residenciales de tipo colectivo (Hoteles)” con el objetivo principal que consiste en la realización de un estudio sobre la utilización de agua en los sistemas prediales, en este caso particular el estudio lo realizó en un edificio cuya ocupación fue para fines hoteleros. Llegando a la conclusión que la sustitución de equipos con rendimiento hídrico reducido tiene ventajas en términos de reducción del consumo de agua potable, lo que genera grandes beneficios económicos, además de contribuir con técnicas amigables con el medio ambiente que conducen a la sostenibilidad. También los investigadores recomiendan la implementación de sistemas obligatorios de certificación hídrica en edificios, que aumentaría la eficiencia en el uso del agua, reduciendo los consumos y obligaría la utilización de fuentes alternativas como por ejemplo aguas lluvias o aguas grises.

2.1.2. Nacional

Rojas Romero (2019) utilizando el método experimental evaluó el impacto de la reutilización del agua gris en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Huancayo en 104 viviendas del distrito, el investigador calculó la demanda de agua gris determinando el caudal de las aguas negras provenientes de los inodoros de las edificaciones unifamiliares. Luego diseñó un sistema de reúso del agua gris y calculó el costo de inversión y mantenimiento anual en un modelo de vivienda de dos pisos. Con estos resultados de la investigación del impacto del reúso de aguas grises, económicamente fue negativa debido a que no era sostenible en la rentabilidad, en relación al impacto en la sostenibilidad social fue aceptable por el aumento de número de beneficiarios del agua potable a 8166 habitantes y en relación a la sostenibilidad ambiental fue positivo al reducir en 23,3 % de vertido de agua residual al río Mantaro.

Azabache et al. (2020) presentaron un artículo científico con el objetivo de realizar la propuesta del diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en viviendas familiares. Los investigadores tomaron mediante una tubería de 2 pulgadas un caudal de agua gris (duchas, lavatorios y lavadoras) de 0,75 m³/día de una vivienda y lo sometieron al filtro de capacidad de 60 L (ver anexo 1, figura 18). Donde se realizaron análisis físico químico para poder determinar la eficiencia del sistema propuesto. Los parámetros iniciales fueron: pH (7,54), sólidos totales disueltos (721 mg/ L), color (500 UPC), nitratos (0,17 mg/ L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (90 mg/ L), Demanda Química de Oxígeno (112 mg/ L); luego del tratamiento con el filtro del agua gris, los investigadores obtuvieron las concentraciones finales de pH (7,05), sólidos totales disueltos (412 mg/ L), color (200 UPC), nitratos (0,05 mg/ L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (30 mg/ L), Demanda Química de Oxígeno (42 mg/ L), con una eficiencia en la remoción de sólidos totales disueltos de 52,68 %, color de 60 %, nitratos de 70,59 %, DBO₅ de 66,67 %, logrando disminuir 10 litros diarios en el consumo de agua potable.

Chávez & Mayhua, (2019) plantea una alternativa de solución de reducir el gasto indiscriminado de agua potable de una urbanización con el aprovechamiento de agua gris y agua pluvial para el uso en riego de plantas, lavado de manos y descarga de urinario e inodoro. La investigación se basó en el diseño de una planta de tratamiento

con filtros, desarenado coagulación- floculación para la reutilización del agua gris y uso de agua pluvial para abastecer una urbanización de 12 hectáreas del distrito de Pimentel, provincia de Chiclayo del departamento de Lambayeque. Los investigadores concluyen que se puede reducir en 39 % en el gasto indiscriminado de agua potable, si se usa el agua gris y pluvial con el adecuado tratamiento.

Rojas López en el año 2018 presentó la investigación de diseño y aplicación del sistema de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua en viviendas unifamiliares, tuvo como objetivo de diseñar y aplicar sistema de reutilización de las aguas grises, para ello evaluó el sistema de recolección de las aguas del lavamanos y ducha, luego el bombeo y tratamiento con filtro de arena, donde los parámetros del agua gris para el reuso en aparatos sanitarios disminuyeron en 0,49 de pH (pH de 7,54 a 7,05) , en 309 mg/L de los sólidos totales disueltos (de 721 mg/L hasta 412 mg/L), también se redujo en 0,12 mg/L de los nitratos (0,17 mg/L hasta 0,05 mg/L) y en 30 mg/L de DBO₅ (90 mg/L hasta 0,05 mg/L). El investigador demostró la eficiencia del tratamiento del agua gris con la disminución del consumo en más de 288 L de agua potable proveniente de la red pública.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Sostenibilidad

En el año 1987 se publicó el concepto de sostenibilidad también llamado nuestro futuro común, en el informe Brundtland elaborado por las Naciones Unidas, con la finalidad de alertar sobre los impactos negativos en el medio ambiente por el desarrollo económico y la globalización, ofreciendo alternativas de solución a los problemas generados de la industrialización y el incremento poblacional (Acciona, 2016).

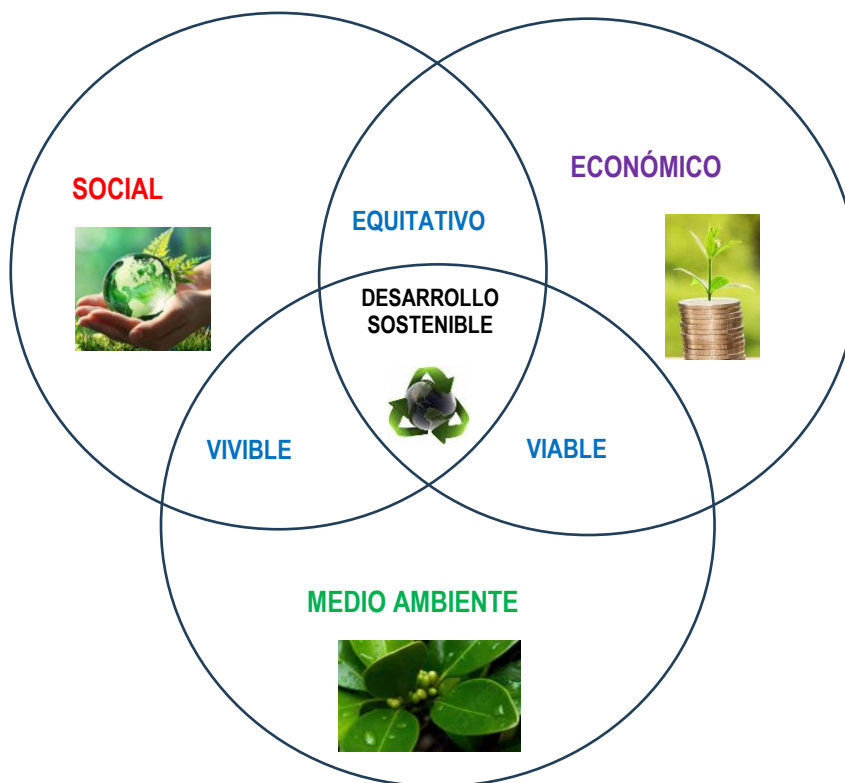
Acciona, (2016) indica que la sostenibilidad es garantizar las necesidades actuales sin comprometer las necesidades de futuras generaciones tomando en cuenta los pilares de crecimiento económico, el desarrollo social y protección del medio ambiente. La combinación de la sostenibilidad económica, social y medioambiental resulta la sostenibilidad total.

Considerando los recursos hídricos, la sostenibilidad es gestionar los recursos del agua en la zona urbana y rural, para satisfacer la demanda actual, sin poner en riesgo la necesidad de las futuras generaciones.

Como se indica en la figura 1 el desarrollo sostenible engloba el desarrollo económico, social y ambiental con equidad, viable y vivible en armonía.

Figura 1

Sostenibilidad económica, social y ambiental



Nota. La interacción del desarrollo sostenible con el medio ambiente, la economía y la parte social (Rss, 2021).

2.2.1.1. Sostenibilidad del agua

La sostenibilidad del agua es gestionar y satisfacer las necesidades en las actividades en el presente, sin contaminar las fuentes de agua, para que este recurso se conserve para las actividades de las futuras generaciones, que enfrentará el déficit hídrico por el efecto del cambio climático por causa del calentamiento global y la contaminación de las fuentes de agua.

Para lograr la sostenibilidad del agua se debe de planificar y aprovechar las aguas provenientes de la precipitación pluvial y reusar las aguas residuales con previo tratamiento, para cubrir la demanda en algunas actividades como la descarga en inodoros, urinarios, riego de jardines, lavado de pisos, entre otras.

Herrero (2015), menciona que la gestión sostenible del agua implica cubrir las demandas de agua fomentando el ahorro y protegiendo las aguas subterráneas y superficiales con la calidad adecuada para garantizar el suministro.

2.2.1.2. Uso sostenible del agua

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) proyecta el incremento en la productividad agraria superior a los 70 % en el año 2050 donde la demanda de agua superará el 40 % de la disponibilidad hídrica, también existe el crecimiento demográfico, cambio climático que generan una incertidumbre en la disponibilidad del agua (Herrero, 2015). También menciona las formas de asegurar un futuro sostenible en materia hídrica, que esta basada en:

- a) Concientizar a los ciudadanos sobre el consumo responsable del agua con planes integrales de ahorro de agua.
- b) Fomentar la agricultura eficiente con planes de utilización de sensores para ajustar el uso de agua y mejorar el rendimiento.
- c) Captar y almacenar el agua de lluvia en las regiones donde hay déficit hídrico por la sobreexplotación o contaminación.
- d) Reutilizar las aguas construyendo infraestructuras económicas y rentables.
- e) Desalar el agua de mar para incrementar la disponibilidad de recursos hídricos en zonas desérticas.
- f) Medir bien el agua para una gestión eficiente y poner un precio justo al agua de la zona urbana y de regadío.
- g) Elaborar una correcta planificación hídrica que esté en paralelo al desarrollo social y económico.
- h) Gestionar un marco normativo para disminuir el consumo de agua y mejorar la calidad de las aguas vertidas.
- i) Favorecer el acceso al agua potable a la población vulnerable.

Figura 2

Uso sostenible del agua



Según Herrero (2015), tomando en cuenta la figura 2 indica que “es posible reducir la extracción de agua aumentando la reutilización, utilizando fuentes alternativas como la captación del agua de lluvia y mejorando eficiencias en procesos de producción” (p.1).

2.2.1.3. Sostenibilidad económica

Es la rentabilidad de la inversión en una actividad que busca la sostenibilidad ambiental y social, quiere decir que busca un equilibrio entre la naturaleza y el ser humano para satisfacer sus necesidades (Herrero, 2015).

2.2.1.4. Sostenibilidad social

Es el desarrollo estable con equidad y valores para mantener un buen nivel de vida buscando la cohesión, la estabilidad de la población para superar la pobreza y la desigualdad de todas las generaciones (Herrero, 2015).

Acciona, (2016) indica en el plano social que la sostenibilidad fomenta el desarrollo de la población con las mismas oportunidades para obtener equitativamente un nivel de vida de calidad, adecuada educación y buena salud, sin renunciar a la igualdad de género.

2.2.1.5. Sostenibilidad ambiental

Espinoza, (2019) menciona que las actividades de explotación de los recursos naturales por los seres humanos han influido de forma negativa y sin control en el medio ambiente, provocando un riesgo en el futuro de la especie humana y la vida en general. Como consecuencia del deterioro del medio ambiente y el fomento del desarrollo sustentable nace el término de sostenibilidad ambiental que busca el equilibrio entre la sociedad y el medio ambiente.

También la sostenibilidad ambiental está enfocada en preservar la biodiversidad y los recursos naturales a lo largo del tiempo sin tener que excluir al progreso económico y social (Herrero, 2015).

La sostenibilidad ambiental produce una garantía al medio ambiente, de tal modo, que los recursos tomados para la productividad, sea de forma apropiada, permitiendo su regeneración, si es posible, reemplazando por otros recursos renovables que den el mismo beneficio.

2.2.2. Agua gris

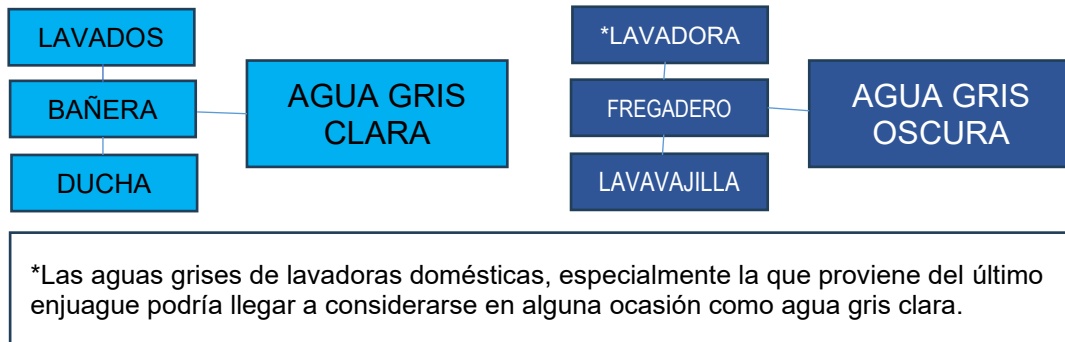
Allen (2015) define que el agua gris son aguas que tuvieron un uso ligero en las lavadoras, duchas, lavado de manos y cara, tinas de baño y jacuzzi. Son aguas que pueden contener restos de detergente, partículas en suspensión, suciedad mínima, color característico, mínima cantidad de microorganismos y sustancias extrañas que no pongan en riesgo la salud de los usuarios que entren en contacto con el agua gris, por ello el agua gris debe estar libre de materia fecal, aceites, grasas, materia orgánica de restos de alimentos y microorganismos de riesgo alto para la salud.

El uso del agua potable en las diferentes actividades puede producir dos tipos de líquidos residuales, un agua gris clara procedente de duchas y bañeras que tienen menor concentración de contaminantes y tiene una diferencia significativa con las

aguas grises oscura que provienen de las lavavajillas, lavadoras y fregaderos como se indica en la figura 3 (Proinstalaciones, 2020).

Figura 3

Diferencia entre agua gris clara y oscura



Nota. El agua gris clara se constituye del agua de lavados, bañera y ducha con menor concentración de contaminantes.

Las características de sólidos suspendidos totales (SST), Turbiedad (T_o), Demanda biológica de oxígeno (DBO_5), potencial de hidrógeno (pH) entre otras del agua gris, varía según el nivel socioeconómico, ubicación geográfica y nivel de educación ambiental en el uso del agua potable.

En la tabla 1 se tiene el promedio de las características del agua gris, y para la estructuración del sistema de filtración se tomará en cuenta el valor de la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbidez (197 NTU).

Tabla 1

Recopilación de características del agua gris de los diferentes países

Parametros	España ^a	Grecia ^b	Chile ^c	Jordania	Prom.
Sólido Suspendido (mg/l)	45 - 330	46,3 - 233	70 - 119	23 - 358	260
Turbiedad (NTU)	22 - 200		57,7 - 193		197
Col.total(UFC/100 mL)	10 - 106		1,3 - 104	1 - 107	106
Conductividad(uS/cm)	10,0			1,57 - 18,3	14,2
DQO (mg/L)		286 - 1199	457 - 719	92 - 2568	1419
DBO_5 (mg/L)	90 - 290	199 - 862	194 - 384	110 - 1056	691
pH	7 - 8	7,2 - 10,2		6,9 - 7,8	8

Nota. ^a No considera aguas provenientes de cocinas y lavado. ^b Considera los valores mínimos y máximos de 4 tipos de aguas grises de 3 tipos de horages. ^c Análisis de dos muestras de aguas grises en hogares de Calama y Valenar (Díaz et al., 2021, p. 03).

También Allen (2015) menciona que utilizar el agua gris es una práctica sustentable del uso del agua con la disminución en el monto del precio por consumo de agua potable, reducción en la descarga de aguas residuales hacia el colector municipal. Como una práctica sustentable, Allen (2015) da algunos lineamientos para el aprovechamiento del agua gris:

- a) El tiempo de almacenamiento del agua gris no debe ser más de 24 horas, pasado este tiempo, los nutrientes sufrirán una reacción de descomposición con liberación de malos olores, por ello hay la necesidad de separar los nutrientes mediante la filtración.
- b) El contacto de personas y animales con el agua gris debe ser mínimo, debido a la presencia de sustancias que pueden ser tóxicas.
- c) Instale el sistema de drenaje con una válvula de desvío, en caso haya exceso de agua gris provenientes de las fuentes.

2.2.3. Sistema del uso de agua gris

Allen (2015) propuso los pasos para instalar un sistema de buen funcionamiento

- a) Ubicar el lugar y los accesorios en la vivienda que son aptos para la captación del agua gris.
- b) Las lavadoras, las tinas de baño y de jacuzzi, la ducha y el lavamanos deben estar conectados a una tubería de captación exclusiva de aguas grises.
- c) Hacer un estimado de la cantidad del agua gris, para la captación, tratamiento y bombeo hacia el tanque elevado.

2.2.4. Sistema de uso de agua de lluvia

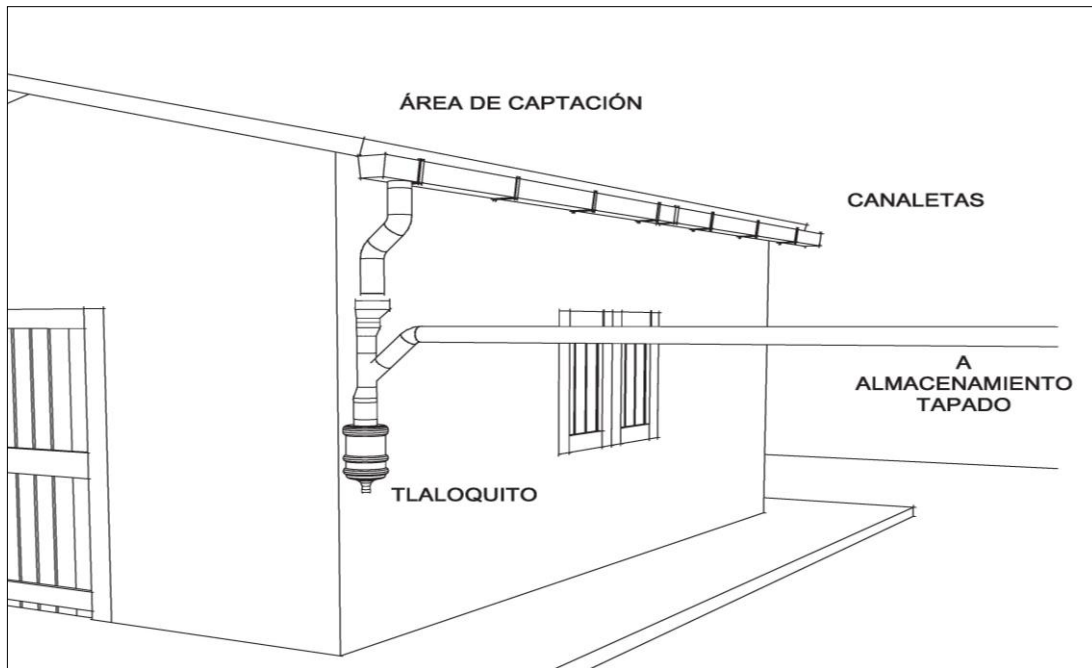
En los tiempos de precipitación pluvial se puede optar por el recojo de agua de lluvia, almacenarlas y tratarlas para reemplazar las aguas grises. El agua de lluvia recogida en la terraza del propio edificio y otras superficies impermeables, se almacena en una cisterna, que al momento de superar el nivel se debe de desbordar a través de elementos que posibilitan su desagüe (Demartine , 2018).

González (2019), presenta el esquema del flujo del agua de lluvia in situ constituida por un área de captación, canaleta de recolección, tloquito de retención de primeras lluvias y tanque de almacenamiento de la lluvia recolectada.

Como se indica en la figura 4, el agua de lluvia se debe de recolectar en la terraza, con una superficie y una canaleta que estén conectadas a la captación, provista con una tubería y su trampa tloquito que tiene la función de discriminar el primer volumen de agua de lluvia por 5 o 6 primeros minutos (Saras, 2016).

Figura 4

Esquema del sistema de captación pluvial



Nota. Sistema de captación del agua de lluvia por lo canaletas y acondicionada con el tloquito para su posterior almacenamiento (Saras, 2016).

Para la acumulación del agua de lluvia se debe de contar con un tanque incorporado con sonda de nivel, rebosaderos y sifones para regular el contenido de agua en el tanque. La fase de distribución debe estar constituida por tuberías que conectan a los puntos de equipos sanitarios de inodoros y urinarios (Proinstalaciones, 2020).

2.2.5. Reutilización de agua en sanitarios

Una solución lógica y eficaz es usar la misma agua dos veces, ya que se puede reducir el consumo de agua potable, así como la producción de agua residual en un 30 %, para ello se debe de utilizar sistemas integrados de reutilizar el agua de la ducha y del lavado manos en el mismo cuarto de baño. Otra opción es recoger las aguas grises provenientes de las duchas y lavados, almacenarlas y tratarlas para evitar problemas sanitarios para luego reutilizarla en los inodoros y urinarios.

Para el caso de edificios se utiliza equipos de recolección y tratamiento ubicados en el subsuelo, que a través de procesos de acopio se agrupan las aguas grises, luego se trata y se bombea a los puntos de uso en inodoros y urinarios, como también se puede utilizar en riego de jardines (Costales, 2020).

2.2.6. Sistema de filtración del agua gris

El sistema de filtración deberá estar constituida por equipos con sus respectivos componentes, que cumplan la función de separar partículas en suspensión, con la finalidad de disminuir la turbiedad.

Con la recopilación de las características del agua gris obtenidas en la tabla 1, considerando el valor promedio de turbiedad de 197 NTU, para el tratamiento del agua gris, se selecciona la alternativa constituida por el sedimentador (S) más prefiltro de grava (PG) y filtro lento de arena (FLA), tomando en cuenta la calidad del agua gris que está principalmente en función de la turbiedad del agua (T_o) en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) y color de agua (Co) en unidades de color cloro platinado de cobalto (UC), como se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2

Criterio de selección del sistema de filtración

Alternativas	Límites de calidad del agua cruda aceptables		
	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtro lento de arena (FLA)	$T_o \leq 50$ UNT	$T_o \leq 20$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 100$ UNT
FLA+ prefiltro de grava (PG)	$T_o \leq 100$ UNT	$T_o \leq 60$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 150$ UNT
FLA+PG+ sedimentador (S)	$T_o \leq 300$ UNT	$T_o \leq 200$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 500$ UNT
FLA+PG+S+ presedimentador	$T_o \leq 500$ UNT	$T_o \leq 200$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 1000$ UNT
	$Co \leq 60$ UC	$Co \leq 40$ UC	
	$Co \leq 60$ UC	$Co \leq 40$ UC	

Nota. Elección del sistema de filtración del agua gris (Solsona & Méndez, 2002).

En la tabla 3 se observa la velocidad de filtración del agua gris, cuyo valor debe ser de $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hora} = 0,3 \text{ m/h}$, para el tratamiento del agua gris, en las etapas de sedimentador (S), prefiltro de grava (PG) y filtro lento de arena (FLA).

Tabla 3

Velocidad de filtración en función de etapas

Etapas	Procesos	Velocidad de filtración (m/h)
Una etapa	Filtración lenta de arena (FLA)	0,10 – 0,20
Dos etapas	Sedimentación (S) + FLA	0,15 – 0,30
Dos etapas	Pre filtración (PF) + FLA	0,15 – 0,30
Tres etapas	(S) + (PF)+ FLA	0,30 – 0,50

Nota. Elección de la velocidad de filtración $0,3 \text{ m/h}$ del agua gris en las tres etapas de sedimentación, prefiltro y filtración lenta de arena (Solsona & Méndez, 2002).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Agua potable

También se le conoce como agua “bebible” que ha sido tratada según las normas de calidad promulgadas por las autoridades nacionales e internacionales y que es utilizada en preparación de alimentos, higiene y consumo por personas y animales sin riesgo de adquirir enfermedades (Marjori, 2015).

2.3.2. Agua gris

Es el agua que tuvo un uso ligero, que provienen de la lavadora, duchas y lavados, excepto aquellas que salen del inodoro (Allen, 2015).

2.3.3. Agua de lluvia

Es el agua precipitada en forma líquida o sólida (granizada) luego de la condensación del vapor de agua atmosférica con pH no inferior al valor de 4.

2.3.4. Agua negra

Es el agua que contiene materia fecal, aceites, grasas, entre otras, que para ser usadas se debe de hacer un tratamiento complejo a elevados costos.

2.3.5. Precipitación puvial

Es el espesor de la lamina de agua de corta duración y alta sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a los litros de agua por metro cuadrado de terreno (L/m^2).

2.3.6. Sedimentador

Es una cámara que separa las partículas superiores a 0,05 mm presentes en el agua por el efecto de la gravedad, con la finalidad de proteger de partículas en suspensión las siguientes operaciones de tratamiento (MVCS, 2018).

2.3.7. Trampa de sólidos flotantes

La trampa de sólidos flotantes es similar a la trampa de grasas, que tiene la función de retener los sólidos que están en la superficie del agua gris.

2.3.8. Prefiltro de grava

Reduce la turbiedad del agua gris como paso previo al filtro de arena. Las cámaras de prefiltración son de sección cuadrada, lleno de grava del mismo diámetro. La altura total del filtro está determinada por la capa de soporte, lecho de grava filtrante, nivel de agua y el borde libre (Norma OS.020, 2016).

2.3.9. Filtro lento de arena

La filtración lenta es un proceso físico que elimina principalmente la turbiedad del agua en un lecho filtrante de arena mixta. La separación de las partículas en suspensión se lleva acabo mediante tamizado entre los intersticios del material filtrante, seguido con la colisión de la partícula con el lecho, luego con la adsorción de la partícula sobre la superficie de la arena filtrante (Solsona & Méndez, 2002).

2.3.10. Turbiedad (unidad nefelométrica de turbidez= NTU)

Es la medida óptica del material suspendido en el agua, donde una luz incide sobre las partículas que absorben y dispersan la dicha luz. (Romero , 2010)

2.3.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅=mg/L-O₂)

EL DBO es la cantidad de O₂ que demanda los microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica biodegradable (Romero , 2010).

2.3.12. Sólidos totales en suspensión (SST=mg/L)

Es la medida de la masa de las partículas sólido no disuelto suspendido en el agua por unidad de volumen.

2.3.13. Potencial de hidrógeno (pH)

Mide la acidez y la alcalinidad de una sustancia utilizando una escala que va de 0 hasta 7 como ácido, pH=7 es neutro y de 7 hasta 14 como alcalina o básica.

2.3.14. Sostenibilidad

Según el informe Brundtland, la sostenibilidad es “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Gómez , 2017).

2.3.15. Sostenibilidad del agua potable

Es la disposición responsable y eficiente del agua para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas.

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. Nacional

En la Ley N° 28611 de la ley general del ambiente en el artículo 120 de la protección de la calidad de las aguas.

En el inciso 120,2 expresa que “El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán” (Congreso de la república, 2005, p. 26).

En el Perú aún no hay un reglamento sobre los parámetros máximos admisibles para la utilización del agua gris, como la calidad debe ser aceptable, los parámetros de base para el uso del agua gris en los sanitarios, estará en función de la categoría 3 de los estándares de calidad ambiental (ECA), donde aplica para el riego de vegetales y bebida de animales.

2.4.2. Internacional

A nivel internacional, en Chile se promulgan la Ley N° 21.075 que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas gris para el uso en áreas urbanas y rurales. Mediante el departamento de salud ambiental se publica el reglamento sobre las condiciones para reutilizar el agua gris, en el título IV del reuso y la calidad de las aguas grises tratadas, en el artículo 31° indica que los efluentes provenientes de los sistemas de reutilización de aguas grises sólo podrán ser destinadas a los siguientes usos: urbanos, riego de áreas recreativas y de servicios, riego ornamental, industrial (Chile, 2018).

El agua gris sometido al tratamiento de filtración puede ser utilizado en la zona rural y urbana, La categoría de uso urbano del agua gris incluye la recarga de inodoros y urinarios y el riego de jardines privados. En la tabla 4 se presenta los parámetros de límite máximo de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST), Turbiedad y cloro libre residual.

Tabla 4

Parámetros del agua gris de usos urbanos

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

Nota. Parámetros de límite máximo para el tratamiento del agua gris (Chile, 2018).

Donde : DBO₅ : Demanda biológica de oxígeno en mg/L

SST : Sólidos suspendidos totales en mg/L

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

En su estudio realizado por Díaz et al. (2021) muestra el resumen de los parámetros de calidad del agua gris para el uso en los sanitarios, en la tabla 5 se muestra los parámetros de diferentes países.

Tabla 5

Recopilación de parámetros de calidad para uso de agua gris de los diferentes países

Parámetros	Hong Kong	España	Reino Unido	Ministry of Health Canada	Ernst et al., 2006 China	Parámetros para sanitarios
Sólidos suspens. (mg/L)	≤ 5			≤ 20		≤ 10
Turbiedad (NTU)	≤ 5	≤ 5	< 10	< 5	< 5	≤ 5
DBO ₅ (mg/L)	≤ 10			≤ 20	≤ 10	≤ 10
pH	6 – 9	7,8 – 8	5 – 9,5		6 – 9	5 – 9,5
Cloro residual Cl ₂ (mg/L)	≥ 0,2	0,5 – 2	≤ 2	0,5 – 1,5	> 1	0,2 – 2,0

Nota. Parámetros internacionales para el uso del agua filtrado en sanitarios. <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/6078>

En la columna de parámetros para sanitarios de la tabla 5, se indica el resumen con criterio de la calidad máximo permisible de los parámetros para el uso del agua gris luego de un tratamiento, que puede ser mediante la filtración u otros tratamientos que se están desarrollando.

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación es aplicada y el nivel de la investigación es descriptiva, porque dio a conocer las características del agua gris antes y después de su tratamiento, para satisfacer la demanda de agua en los sanitarios y describir la sostenibilidad del agua en la ciudad de Ayacucho.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un diseño no experimental, debido a que se diagnosticó las características del agua gris sin modificar las concentraciones, y la clase es Longitudinal, donde las muestras del volumen del agua filtrada se evaluaron en el tiempo hasta determinar la saturación del lecho filtrante sin manipular las variables.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

La población está conformada por las viviendas de cuatro pisos de la ciudad de Ayacucho.

3.3.2. Muestra

La muestra seleccionada para la investigación fue un edificio multifamiliar con instalaciones sanitarias de cuatro pisos de la ciudad de Ayacucho, dirección Av. Cusco 1305 del barrio San Melchor ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Huamanga del departamento de Ayacucho.

3.3.3. Muestreo

La toma de muestra fue de aleatoria simple, el muestreo del agua gris se realizó de la mezcla de agua proveniente de la ducha, lavado de manos, lavado de prendas de vestir y la máquina lavadora de prendas, donde la mezcla total fue recolectada en un tanque de 300 litros durante 24 horas, proveniente de los cuatro pisos de una edificación. La toma de muestra se hizo en una botella de polietileno de 1000 mL refrigerado y sin preservantes, llevado de inmediato al laboratorio de análisis físico químico.

3.4. VARIABLES E INDICADORES

La variable de estudio de la investigación de la evaluación del uso de agua gris y pluvial propuesta, es:

Variable de estudio 1 = Uso del agua gris y pluvial

Indicador

- Sistema de recolección y tratamiento de agua gris y pluvial.
- Parámetros del tratamiento del agua gris.

Variable de estudio 2 = Sostenibilidad del agua potable

Indicador

- Ahorro en el costo del agua potable por el uso de agua gris y agua pluvial.
- Población social beneficiaria de agua potable.
- Volumen de agua gris no vertida a la red municipal.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

La operacionalización de variables de la investigación se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Concepto operacional	Indicador
Uso del agua gris y pluvial	Sistema de recolección y tratamiento de agua gris y pluvial.	Es la integración de captación, transporte, tratamiento y la disposición del agua gris y captación del agua pluvial en un tanque elevado de almacenamiento.	Volumen de agua gris y pluvial (m ³). Dimensiones en (m) del sedimentador, prefiltros, filtro y tanque de almacenamiento
	Parámetros del tratamiento del agua gris.	Los parámetros son la velocidad de flujo del agua gris y la concentración antes y después de la filtración del agua.	Velocidad (m ³ /h) Sólidos en suspensión (mg/L) Turbiedad (NTU) Potencial de hidrógeno (pH)
Sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho	Sostenibilidad del agua potable en edificaciones	Valor económico del ahorro en la tarifa de consumo de agua. Acceso de la población con déficit hídrica al servicio de agua potable. Reducción de la cantidad de aguas residuales.	Ahorro en el costo de agua potable (soles) Poblaciones beneficiarias Volumen de agua residual no vertida (m ³)

Nota. Variables de estudio y dimensiones de estudio.

3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

En este ítem se describe las técnicas para recolección de datos del sistema de uso del agua gris y pluvial, los procedimientos son:

➤ **Análisis de documentos**

Para obtener la información para el estudio del sistema de uso de agua gris y pluvial se hizo mediante el análisis documentario de fuentes confiables como artículos científicos, tesis de maestría y doctorales relacionados al tema de investigación.

➤ **Obtención de características del agua gris**

Mediante la observación se identificó el color característico del agua gris proveniente de la ducha, lavamanos y lavado de prendas, de esta mezcla se tomó una muestra y se mandó a caracterizar, también se tomó una muestra después del tratamiento en el lecho filtrante de arena del agua gris, de esta forma se recolectó los datos de la investigación.

3.6.2. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Luego de obtener la información del análisis documentaria y disponer las características del agua gris, se realizó el procesamiento de datos con los programas computacionales de hojas de cálculo y dibujo técnico para la estructuración de las dimensiones del sistema de filtración del agua gris, captación pluvial y distribución del agua en los sanitarios de la edificación.

Mediante el procesamiento de datos se determinó el caudal disponible y demanda de agua gris, configuración de recolección y tratamiento por filtración del agua gris, captación del agua pluvial provisto de un recipiente para su almacenamiento, instalación del sistema de uso de agua gris y pluvial y cálculo de la inversión para determinar la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho.

3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1. Caudal disponible y de demanda del agua gris

El consumo diario de agua varía por persona según la condición económica, la ubicación geográfica, cabe señalar que la región de la costa consume en mayor cantidad el agua potable de la red pública, mientras que algunos departamentos de la sierra como Huancavelica consume menor cantidad de agua, al igual que Amazonas que está ubicada en la región de la selva (INEI, 2020).

En la tabla 7 se muestra las dos ciudades de Estados Unidos y España, con consumo medio de agua por persona en la ducha, lavamanos, lavadora e inodoros, el valor del consumo promedio de las dos ciudades, será la base para determinar el caudal disponible de agua gris y el caudal de demanda de los sanitarios en litros por persona y día.

Tabla 7*Consumo medio de agua potable por persona*

Consumo medio de agua en Estados Unidos por persona		Tiempo de uso o número de uso	Consumo (L/persona. día)
Ducha	90 L/ en 10 min.	Una vez al día	90
Lavamanos	3 L/min	3 veces al día	9
Lavadora	95 L/ carga de 45 min.	Una vez al día	95
Inodoro	7 L	5 veces al día	35
Consumo medio de agua en España por persona		Tiempo de uso o número de uso	Consumo (L/persona. día)
Ducha	100L/ 10 min.	Una vez al día	100
Lavamanos	4 L / min.	3 veces al día	12
Lavadora	80 L/ por lavado	Una vez al día	80
Inodoro	6 L	5 veces al día	30

Nota. Consumo de agua potable por persona y día en la ciudad de Estados Unidos y España. <https://www.construible.es/comunicaciones/repercusion-agua-edificios-consumo-casi-nulo>.

En la tabla 8 se observa, que en un día se requiere un volumen de 520 L de agua gris filtrada para usar en un sanitario por piso de una edificación de 4 niveles, este volumen de agua es suficiente, ya que el volumen de demanda es menor que el volumen disponible de agua gris (520 L < 1266 L). Este volumen disponible se obtiene de la ducha y lavamanos de solo tres pisos de la edificación.

Tabla 8*Consumo promedio aproximado por familia por piso del edificio*

Punto de uso	Litros / persona . día	Familia de 4 personas /piso	Familia con 1 baño (L/día)	Caudal por 1 piso	Caudal por 3 pisos
Ducha	95	4	380	380	
Lavamanos	10,5	4	42	42	
Caudal disponible de agua gris			$Q_{\text{Disponible}} =$	422 L/d	1266 L/d
por 4 pisos					
Inodoro	32,5	4	130	130	
Caudal de demanda de agua gris filtrada			$Q_{\text{Demanda}} =$	130 L/d	520 L/d

Nota. Caudal disponible y de demanda del agua gris por día en una edificación.

3.7.2. Sistema de filtración del agua gris

Para evitar la falta de agua en los sanitarios, se deberá someter un caudal de 550 L por día ($0,55 \text{ m}^3/\text{d}$) de agua gris al sistema de filtración, constituida por sedimentador (S) + prefiltro de grava (PG) + filtro lento de arena (FLA), con una velocidad de filtración del agua gris de 0,20 a 0,30 m/h, luego el agua filtrada será almacenada en un tanque de capacidad del doble de volumen de demanda.

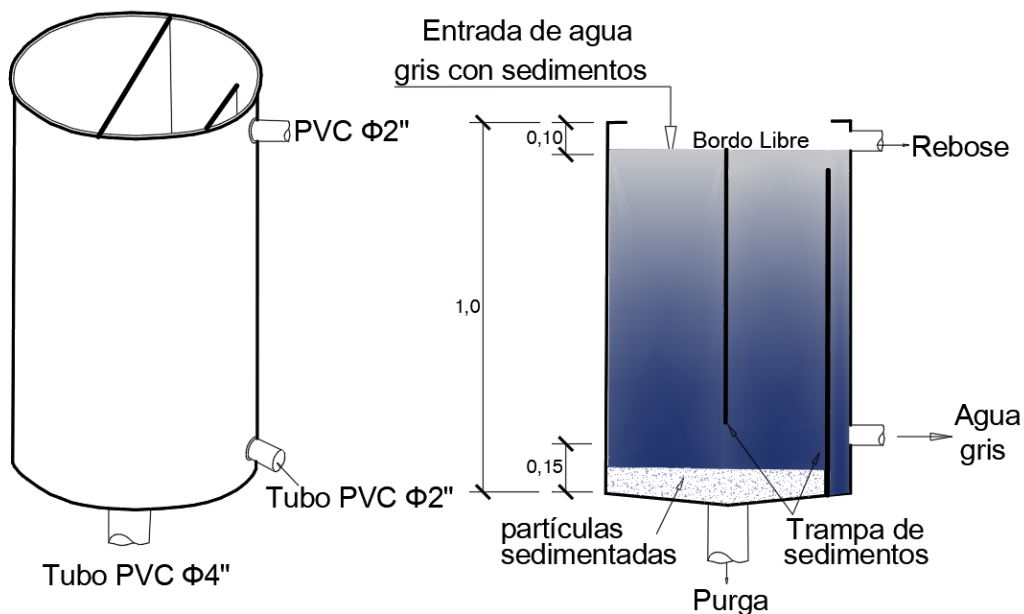
3.7.2.1. Sedimentador

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), los criterios ha tomar en cuenta debe ser:

- El tiempo de retención del agua a tratar debe ser de 2 – 6 horas.
- La profundidad del tanque debe ser de 1,0 a 2,5 m.
- La pendiente del fondo debe estar entre 5 a 10%

Figura 5

Plano del sedimentador del agua gris



SEDIMENTADOR - PERFIL DEL SEDIMENTADOR

ESC. 1/25

Nota. Sedimentador (S) con trampa, tubería de purga, tubería de rebose y paso de agua gris

En la figura 5 se tiene el sedimentador (S) de 1,0 m altura por 0,6 m de diámetro provista de tubería (PVC de Φ 4") de purga de sedimentos, tubería (PVC de Φ 2") de rebose de excesos y tubería de paso de agua gris al siguiente proceso de prefiltro.

3.7.2.2. Prefiltros de agua

Para reducir la turbiedad del agua gris que sobrepasa los 100 NTU, se configura el prefiltro según indicado en la Norma OS. 020, donde se dispone tres cámaras con lecho de grava de diámetro decreciente como se indica en la tabla 9.

Tabla 9

Características de las cámaras del prefiltro

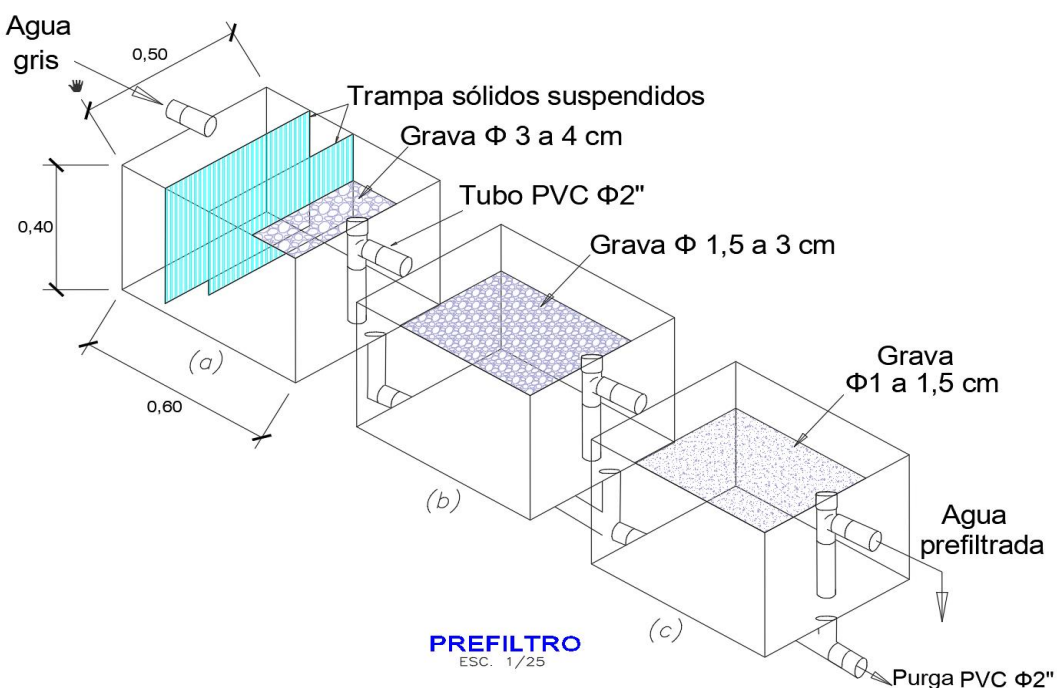
Cámara	(a)	(b)	(c)
Diámetro de la grava (cm)	3 – 4	1,5 – 3	1 – 1,5
Velocidad (V_f) en (m/h)	0,2 – 0,8	0,15 – 0,40	0,10 – 0,20
Espesor del lecho (m)	0,30	0,30	0,30

Nota. Velocidad, diámetro y espesor de grava de los tres prefiltros.

En la figura 6 se muestra el prefiltro de grava (PG) constituida por la cámara (a) con dos pantallas de trampa de sólidos suspendidos separados a 0,15 m, con un lecho de grava de diámetro 3 – 4 cm, seguida por la cámara (b) con lecho de grava de diámetro 1,5 – 3 cm y la cámara (c) con lecho de grava de 1,0 – 1,5 cm, que funciona a la velocidad mínima de 0,20 m/h.

Figura 6

Perfil de las cámaras del prefiltro de grava (PG)



Nota. Prefiltro (a) con trampa de sólidos suspendidos y grava , (b) y (c) con grava

Cada cámara está conectada en serie por tuberías de PVC de $\Phi 2''$ con dimensiones de 0,5 m ancho, 0,6 m de largo y una altura de 0,4 m, relleno con un lecho de grava de 0,3 m de espesor, cuya finalidad es de clarificar el agua gris y reducir la turbiedad, con un caudal de operación de 0,50 L/min.

$$Q = As \cdot Vs = \text{Área de la sección (m}^2\text{)} \cdot \text{Velocidad (m/h)}$$

$$Q = 0,50 \text{ m} \cdot 0,30 \text{ m} \cdot 0,20 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 0,030 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{h}}{60 \text{ min}} = 0,50 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

3.7.2.3. Filtro lento de arena

El agua gris previamente tratado en los prefiltros de lechos de grava de diferentes diámetros, se alimenta por una tubería a una velocidad de 0,20 m/h al filtro lento de lecho circular de radio de 0,3 m, que opera con un caudal de 0,95 L/min. como mínimo.

Caudal de operación:

$$Q = \frac{As \cdot N \cdot V_f}{C}$$

Donde: As : Área de cada unidad (m^2)

Q : Caudal del agua gris (L/min)

C : Número de turnos de operación (operación continua $C=1$)

N : Número de operaciones ($N=1$)

V_f : Velocidad de filtración (0,20 m/h a 0,30 m/h)

$$Q = As \cdot Vs$$

$$Q = \pi(0,3\text{m})^2 \cdot 0,20 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 0,057 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{h}}{60 \text{ min}} = 0,95 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$Q = \pi(0,3\text{m})^2 \cdot 0,30 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 0,084 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{h}}{60 \text{ min}} = 1,40 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Es importante señalar que la filtración de 550 L de agua gris se puede operar a un caudal de 0,95 L/min. hasta 1,40 L/min. como máximo.

En la tabla 10 se observa los diseños de filtro de Cadena- Carcelén, Chávez- Rojas y del Ministerio de Vivienda, para configurar el lecho de nuestro filtro, se toma el promedio del tamaño de la partícula filtrante y la altura del lecho, que resulta ser 0,20 m de grava (3 - 10 mm), 0,20 m de arena gruesa (4 – 5 mm) y 0,40 m de arena fina (0,25 – 1,5 mm) libre de arcilla y materia orgánica.

Tabla 10

Promedio de tamaño de la partícula filtrante y altura del lecho

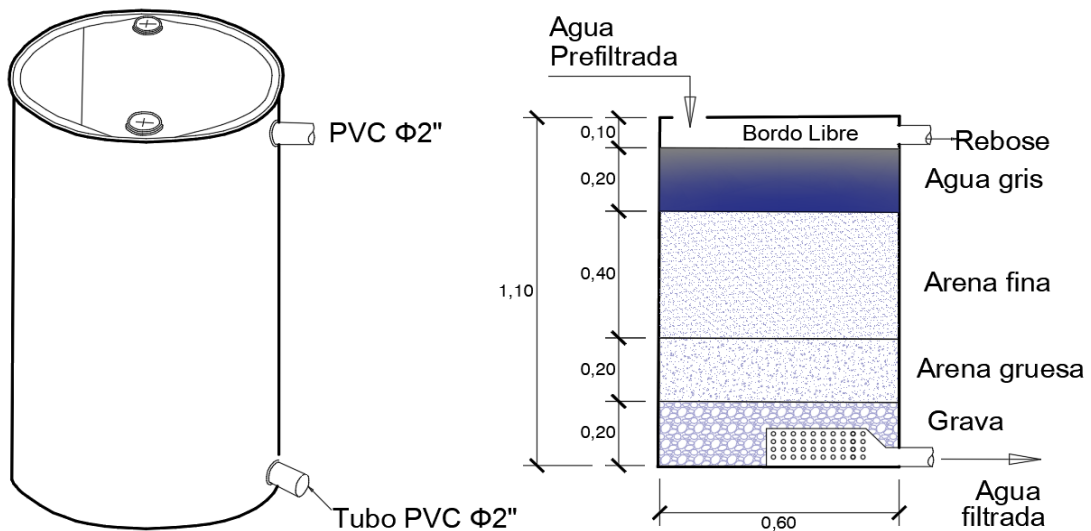
Criterios de configuración filtro lento	Cadena- Carcelén (2021)		Chávez- Rojas (2020)		Ministerio Vivienda (2018)		Lecho (promedio)	
	Tamaño (mm)	Altura (m)	Tamaño (mm)	Altura (m)	Tamaño (mm)	Altura (m)	Tamaño (mm)	Altura (m)
Bordo libre								0,10
Altura agua				0,20				0,20
Arena fina	0,25	0,10	0,25	0,25	1,5	0,80	0,25 – 1,5	0,40
Arena gruesa	0,50	0,20	0,50	0,15	4,0	0,50	0,5 – 4,0	0,20
Lecho grava	3,00	0,20	3,50	0,20	10,0	0,20	3,0 – 10,0	0,20

Nota. Promedio del tamaño de partícula y altura de lecho del filtro.

En la figura 7 se tiene el plano el filtro lento de base circular de 0,6 m de diámetro y altura de 1,10 m con los materiales y espesores para el tratamiento del agua gris.

Figura 7

Dimensiones de filtro lento



FILTRO - PERFIL DEL FILTRO

ESC. 1/25

Nota. Filtro lento con el material y sus respectivos espesores en metros.

El filtro de arena capta el agua gris prefiltrada por la tubería de PVC de Φ 2", esta agua contaminada ingresa a los estratos permeables de arena fina, arena gruesa, grava, el agua libre de contaminantes es recolectada por la canastilla de diámetro de 4 pulgadas hacia la tubería de Φ 2", para transportarla al tanque de almacenamiento. Si en el proceso de filtración haya exceso de alimentación de agua gris prefiltrada, los excesos se recolectarán por el tubo de rebose de PVC de diámetro de 2 pulgadas.

3.7.2.4. Captación del agua pluvial

Para disponer el volumen de demanda de 0,55 m³ de agua, el área de techo debe tener las dimensiones adecuadas para recolectar la precipitación pluvial, esta área de captación depende del coeficiente de escurrimiento del material del techo (ver tabla 11) y la precipitación promedio anual de la ciudad de Ayacucho, cuyos datos pluviométricos están disponibles en el servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (Senamhi).

Tabla 11

Coeficiente de escurrimiento

Material o tipo de construcción	Coeficiente de escurrimiento (C)
Cubiertas metálicas o plásticas	0,95
Techos impermeabilizados	0,90
Concreto hidráulico	0,90
Láminas corrugada	0,80
Tejas	0,80

Nota. Materiales de techado con pendiente inferior a 20%

Con la siguiente fórmula se calcula el área de superficie de captación del agua pluvial para los diferentes meses.

$$A_c = \frac{V_t * 1000}{C * P_m}$$

Donde: A_c : Área de captación (m²)

V_t : Volumen tanque elevado (m³)

C : Coeficiente de escurrimiento (0,9)

P_m : Precipitación promedio anual (mm)

En la tabla 12 se observa los valores de las precipitaciones pluviales son de mayor intensidad desde el mes de octubre hasta abril, con un área de captación de la precipitación pluvial en el rango de 16,5 a 18,5 m², esta área de techo se construirá según la disponibilidad de la edificación y la estética del diseño arquitectónico, considerando las cargas vivas y muertas resistentes al movimiento sísmico y vientos huracanados.

Es importante señalar que el área de captación estará en operación desde el mes de octubre hasta abril, pero desde el mes de mayo hasta setiembre, el sistema de filtración del agua gris cubrirá la demanda de agua en los sanitarios.

Tabla 12

Área de captación de la precipitación pluvial

MES	PRECIPITACIÓN* (mm)	COEFICIENTE** (calamina metálica)	VOLUMEN TANQUE (m ³)	ÁREA DE CAPTACIÓN (m ²)
Julio	8	0,9	0,55	76,4
Agosto	12	0,9	0,55	50,9
Setiembre	24	0,9	0,55	25,5
Octubre	37	0,9	0,55	16,5
Noviembre	44	0,9	0,55	13,9
Diciembre	66	0,9	0,55	9,3
Enero	117	0,9	0,55	5,2
Febrero	102	0,9	0,55	6,0
Marzo	94	0,9	0,55	6,5
Abril	33	0,9	0,55	18,5
Mayo	9	0,9	0,55	67,9
Junio	7	0,9	0,55	87,3

Nota: Cálculo de área de captación en m² desde el mes de julio hasta junio

*Datos de precipitación Senamhi. <https://www.senamhi.gob.pe/mail.php?dp>

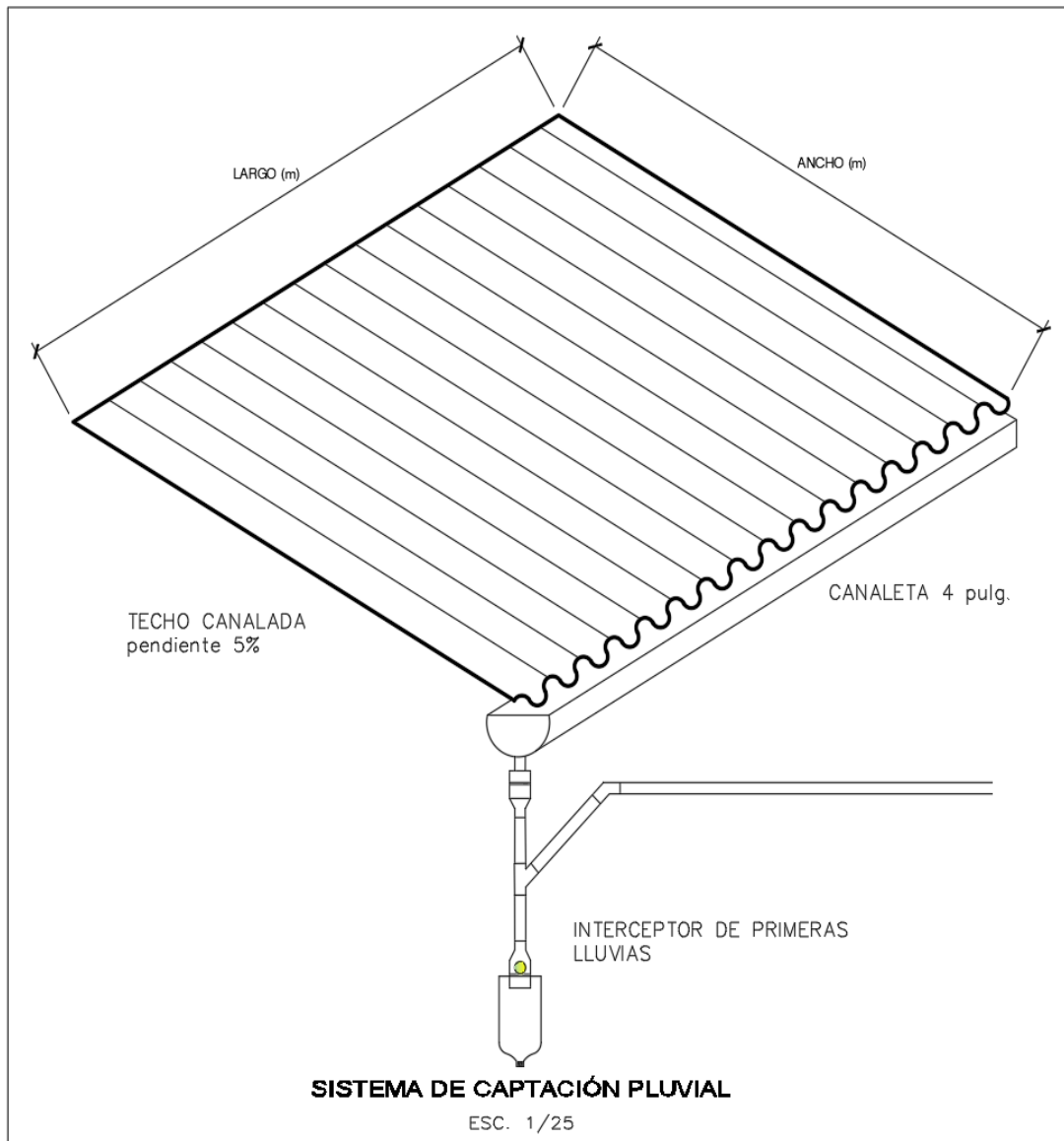
**Coeficiente de escorrentía. <https://sswm.info/gass-perspective-es/tecnologias>

Por criterio de construcción, la parte del sistema de captación de agua pluvial debe estar constituida por una superficie mínima de 25 m² (área= largo x ancho) con pendiente de 5 %, una canaleta de transporte de lluvia de 4 pulgadas y un interceptor de primeras lluvias, conocida también como tloquito conectada al canal con una tubería de 2 pulgadas y sus respectivos accesorios. Este tloquito tendrá la función de retener una cierta cantidad de lluvia contaminada con partículas en suspensión u

otro tipo de contaminante hasta llenar el nivel de 40 litros (Anexo 2, figura 19), luego de completar el volumen, el agua excedente será transportada a su almacenamiento en el tanque elevado de 1100 litros (ver figura 8).

Figura 8

Sistema de captación pluvial



Nota. Techo metálico canalado, canaleta de 4 pulgadas y tloque para captar agua pluvial.

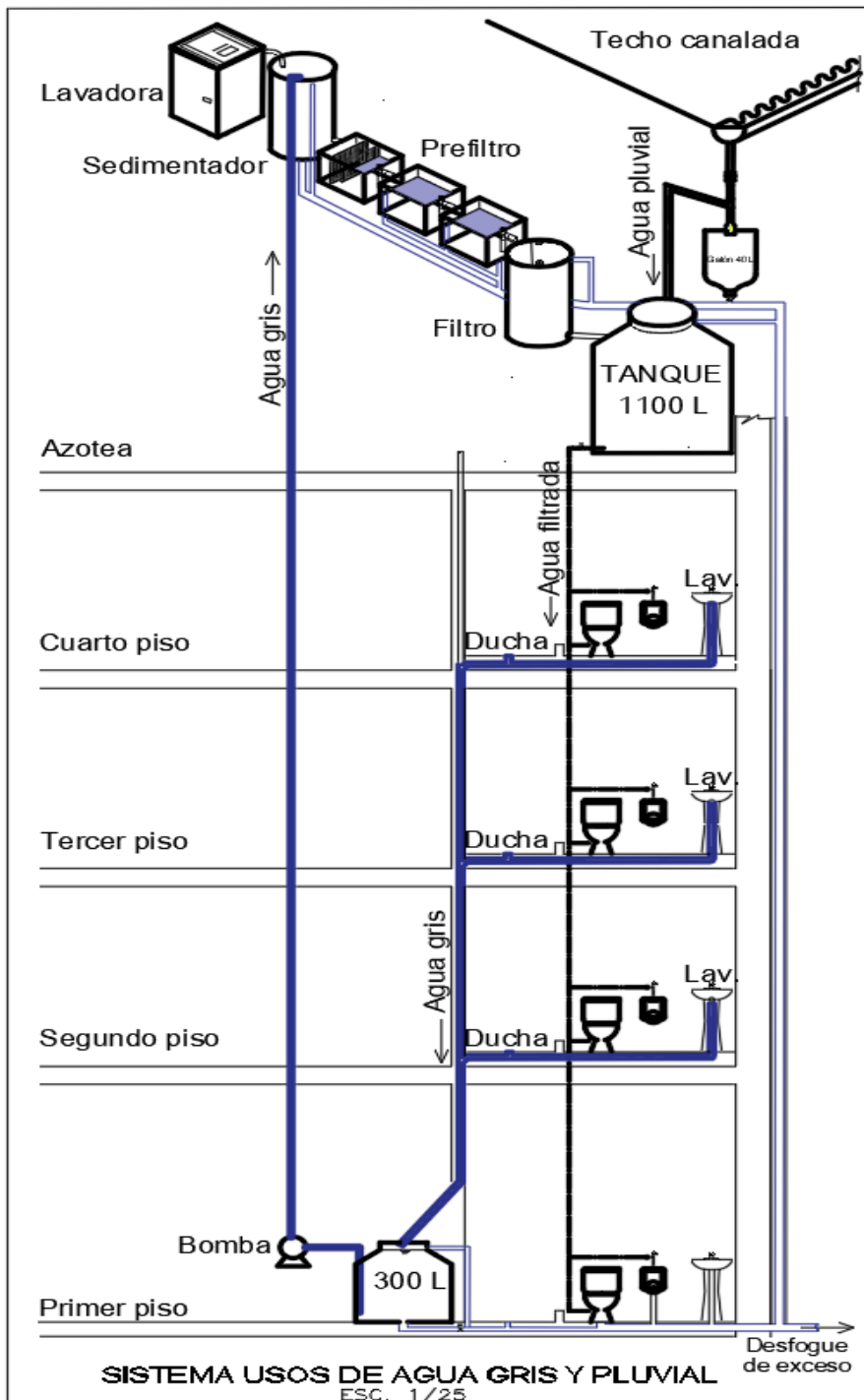
3.7.2.5. Sistema de uso del agua pluvial y del agua gris

El sistema cuenta con tuberías de 2 pulgadas de captación de agua gris de duchas y lavamanos, que son transportadas hasta el tanque de 600 L, el agua gris del tanque es bombeada hasta al sedimentador por una tubería $\Phi \frac{3}{4}$ ", luego el agua gris ingresa

a los prefiltros, continua por el filtro de arena y se almacena en el tanque elevado de 1100 L. Como se observa en la figura 9, el agua filtrada abastece la demanda de los sanitarios (más detalles en el anexo 3 y 4).

Figura 9

Sistema de uso del agua gris y pluvial



Nota. Plano en perfil del sistema de uso de agua gris y pluvial.

El sistema empieza con la recolección de agua gris de la ducha y lavamanos en un recipiente de 600 L con un desfogue de exceso hacia la red de desagüe municipal, luego es impulsada por una bomba hasta el sedimentador, que también puede ser alimentada de agua gris desde la lavadora, luego que las partículas sean sedimentadas por la atracción de la gravedad, pasa al prefiltro donde se reduce la turbiedad, luego pasa al filtro de arena, donde es tratada hasta cumplir los parámetros permisibles, para luego ser almacenada en el tanque de 1100 litros, este recipiente también será alimentada por el agua que provienen de la precipitación pluvial en los meses de lluvia intensa.

3.7.2.6. Cálculo de costo del sistema

En la tabla 13 se describe el costo de instalación del sistema de captación del agua pluvial, incluida los materiales, accesorios y mano de obra. El costo total de la instalación del sistema asciende hasta 2003,0 soles.

Tabla 13

Costo del sistema de uso de agua pluvial

Ítem	Descripción	Ud.	Metrado	Precio (soles)	Parcial (soles)
1.	Instalación de superficie de captación de lluvia				
1.1	Tubo Galvanizada (6 m) de 1, 5 mm x 75 x 25	und	3	125,0	375
1.2	Tubo Galvanizada (6 m) de 0, 9 mm x 50 x 25	und	3	85,0	255
1.3	Calamina Galvanizada de 22 mm x 1,8 x 0,80	und	25	15,80	395,0
1.4	Canaleta pluvial 4" 100 mm x 4 m	und	2	54,0	108,0
1.5	Tapa universal 4"	und	2	4,0	8,0
1.6	Unión canaleta 4" 100 mm	und	1	11,0	11,0
1.7	Gancho tradicional canaleta	und	6	4,0	24,0
1.8	Embudo de Bajada 4"	und	1	27,0	27,0
1.9	Filtro de primeras lluvias (Tlaloque)	Glb	1	250,0	250,0
2.0	Tubos y accesorios	Glb	1	100,0	100,0
2.1	Mano de obra total	Glb	1	500,0	500,0
Costo total					2003,0

Nota. Costo total de instalación de captación del agua pluvial.

El costo de instalación del sistema de tratamiento del agua gris asciende hasta 5245,0 soles (ver tabla 14) que incluye equipos, materiales, accesorios y mano de obra de la instalación del tratamiento y disposición del agua filtrada.

Tabla 14

Costo de sistema de uso del agua gris

Ítem	Descripción	Ud.	Metrado	Precio (soles)	Parcial (soles)
1. Tanque cisterna de agua gris					
1.1	Tanque cisterna azul de 600 L	und	1	500,0	500,0
1.2	Reboce y limpia con tubo PVC de 2"	Glb	1	50,0	50,0
1.3	Válvula check de bronce 1"	und	1	45,0	45,0
1.4	Válvula de pie con canastilla de 1" de bronce	und	1	50,0	50,0
1.5	Válvula de limpia de 2"	und	1	45,0	45,0
1.6	Unión universal PVC de 1"	und	1	15,0	15,0
1.7	Accesorios PVC de 1" (codo, reduc. 1" a 3/4")	Gbl	1	25,0	25,0
1.8	Tubo PVC 2"	und	1	15,0	15,0
2. Red de conexión a tanque cisterna					
2.1	Tubería de PVC de 3/4" y accesorios	Glb	1	150,0	150,0
3. Tanque elevado					
3.1	Tubos y accesorios	Glb	1	150,0	150,0
3.2	Tanque elevado de alta densidad de 1 100 L	und	1	750,0	750,0
4. Electrobomba					
4.1	Electrobomba de 3/4 HP	und	1	500,0	500,0
4.2	Accesorio PVC de 1" (codo, te, niple)	Glb	1	55,0	55,0
4.3	Unión universal PVC de 1"	und	2	15,0	30,0
4.5	Instalación eléctrica	Glb	1	120,0	120,0
5. Sedimentador (S) + prefiltros (PG) + filtro lento de arena (FLA)					
5.1	Sedimentador y accesorios	Glb	1	150,0	150,0
5.2	Prefiltros y accesorios	Glb	1	145,0	145,0
5.3	Filtro y accesorios	Glb	1	350,0	350,0
5. Instalación del agua gris a los inodoros					
5.1	Tubos y accesorios desde tanque elevado a inodoros	Glb	1	300,0	300,0
5.2	Mano de obra total	Glb	1	1800,0	1800,0
Total, de costo directo					5245,0

Nota. Costo total de instalación del sistema de uso de agua gris.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA GRIS

En la tabla 15 se muestra los resultados del análisis de las características del agua gris, también se observa la norma peruana de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y los parámetros internacionales recopilada de los diferentes países donde se usa el agua gris tratada.

Tabla 15

Resultados de análisis del agua gris de la ciudad de Ayacucho

ANÁLISIS	Resultados (Anexo 6)	Especificaciones ECA (Categoría 3)	Parámetros intern. (Tabla 6)
Turbiedad (UNT)	482,00	20 – 1000	≤ 5
Sólidos suspendidos (mg/L)	299,95	45 – 350	≤ 10
DBO ₅ (mg/L)	224,11	90 – 290	≤10
pH (Potenciométrico 21,5°C)	5,65	6,5 – 8,5	5,5 – 9,5

Nota. Análisis del agua gris recolectada en una edificación de la ciudad de Ayacucho.

En esta investigación de determinar las características físico y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho, se pudo encontrar que el agua potable con turbiedad de 1,96 NTU (ver anexo 5) se incrementó hasta 482,0 NTU con sólidos suspendidos

de 299,95 mg/L, estos parámetros de calidad superan el parámetro internacional de 5 UNT y 10 mg/L respectivamente y el DBO₅ de 224,11 mg/L supera el valor de 10 mg/L. Mientras que el pH de 6,99 del agua potable, luego de usar aumentó su acidez hasta 5,65.

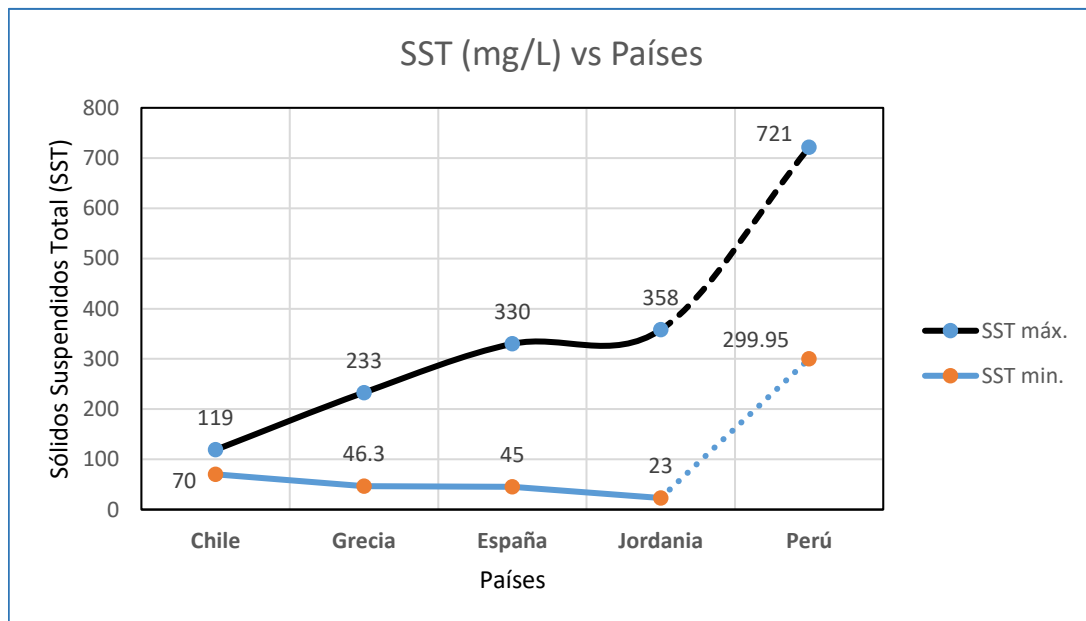
Esto nos da entender que el agua gris se acidificó y la calidad no tiene conformidad con los parámetros internacionales, como la turbiedad, sólidos suspendidos y DBO₅, también el potencial de hidrógeno (pH = 5,56) está fuera del rango de 6,5 a 8,5, del parámetro de la categoría 3 de la norma de Estándar de Calidad Ambiental, por lo tanto, por el principio de inocuidad, el agua gris no es conforme para usar.

Frente a lo mencionado se admite la hipótesis de que las características físico y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho no están dentro de las especificaciones del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y la regulación internacional de parámetros del agua gris de uso urbano.

En esta línea, Rojas (2018) en su investigación determinó los sólidos suspendidos de 721 mg/L del agua gris y en nuestra investigación se obtuvo 299,95 mg/L, estos valores tienen la misma trayectoria de máximos y mínimos de sólidos suspendidos registrados para los diferentes países (ver figura 10).

Figura 10

Máximo y mínimo de sólidos suspendidos totales para diferentes países

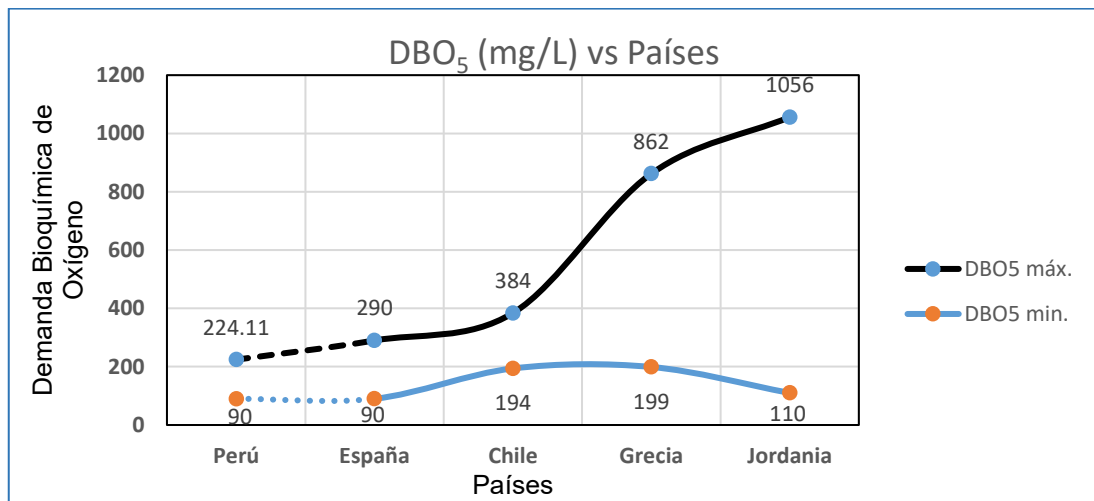


Nota: Gráfica de proyección de SST del agua gris (según la Tabla 1).

También Rojas (2018) obtuvo 90 mg/L de DBO₅ que tiene la tendencia de los mínimos valores de DBO₅ de los diferentes países, de igual manera en nuestra investigación se obtuvo 224,1 mg/L de DBO₅, que tiene la misma trayectoria de los máximos valores de la demanda bioquímica de oxígeno, con un registro de mayor concentración de 1056 mg/L del agua gris de Jordania (ver figura 11).

Figura 11

Máximo y mínimo de la demanda bioquímica de oxígeno para diferentes países

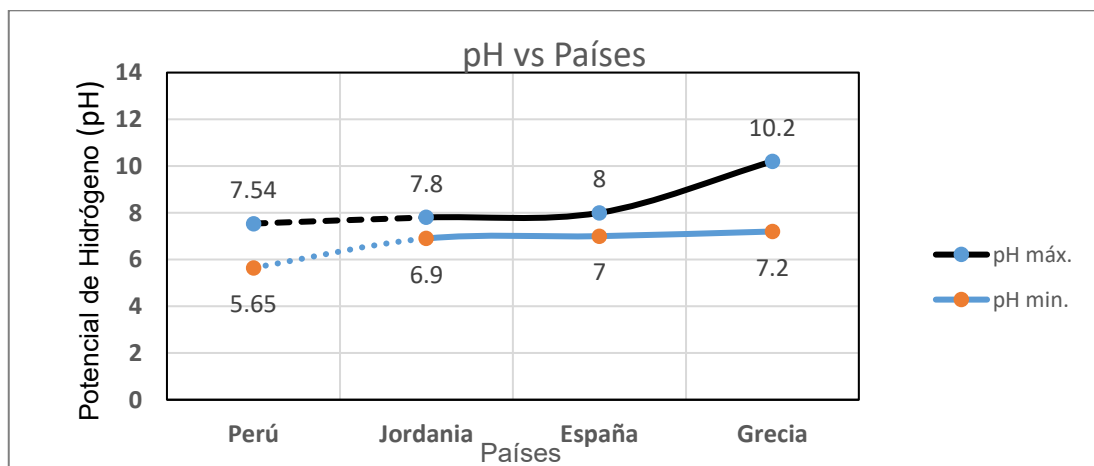


Nota. Gráfica de proyección de DBO₅ del agua gris (según la tabla 1).

También el pH de la investigación de 5,65 y 7,54 tiene la misma trayectoria del mínimo y máximo del potencial de hidrógeno de los diferentes países (ver figura 12).

Figura 12

Máximo y mínimo del potencial de hidrógeno para diferentes países



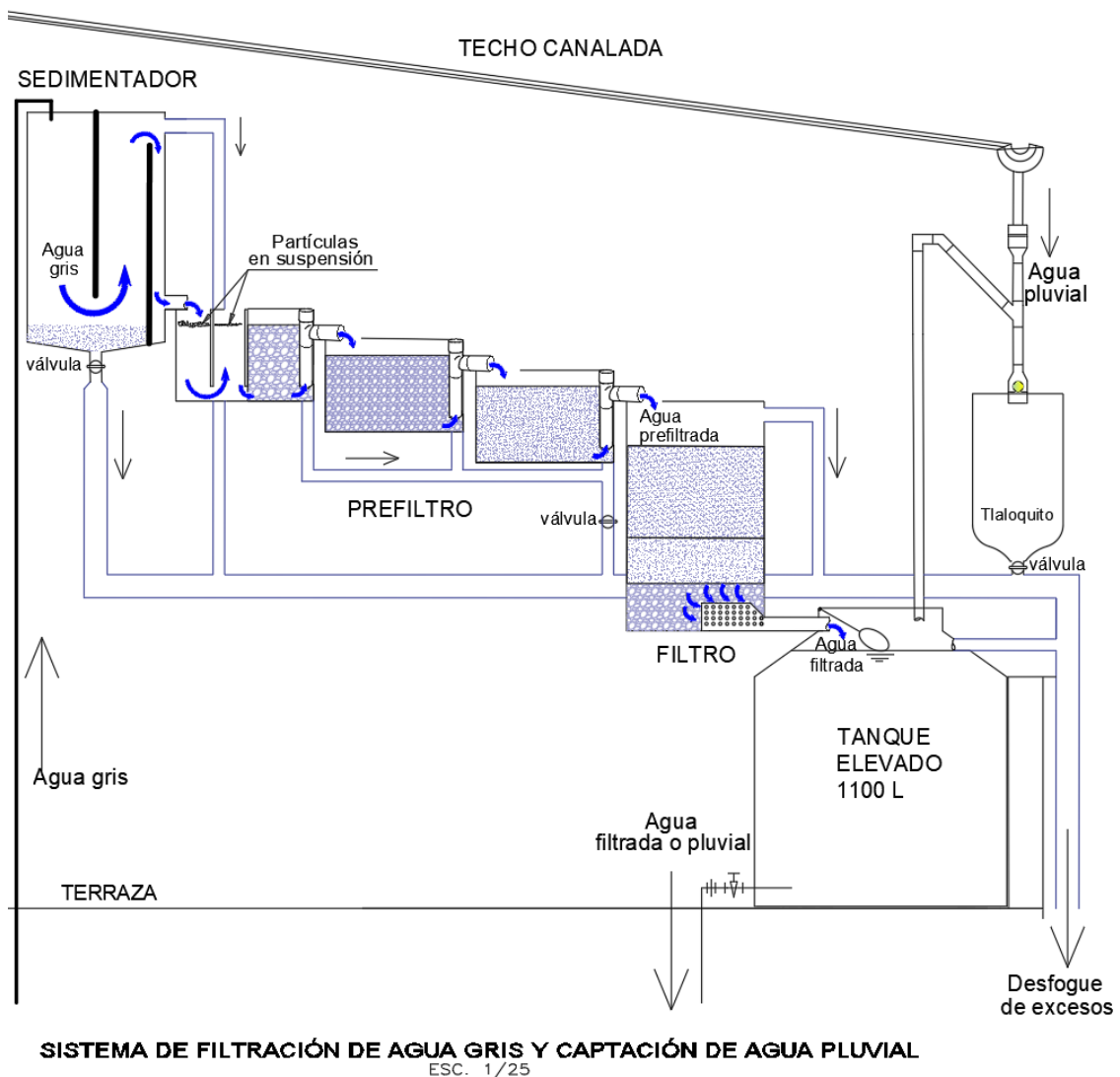
Nota. Gráfica de proyección de pH del agua gris (según la tabla 1)

5.2. SISTEMA DE FILTRACIÓN Y CAPTACIÓN PLUVIAL

El objetivo de diseñar el sistema de filtración del agua gris para disponer de agua en los sanitarios, se fundamenta en separar las partículas en suspensión u otra materia sólida no disuelta en el agua gris, el diseño se basó en reducir la turbiedad de 482 NTU, para ese propósito se seleccionó la alternativa de sedimentador (S), prefiltro de grava (PG) y filtro lento de arena (FLA) con una velocidad de filtración mínima de 0,20 m/h y máximo de 0,30 m/h, como se observa en la figura 13.

Figura 13

Sistema de filtración del agua gris y sistema de captación pluvial



Nota: Trayectoria del agua gris, desde el sedimentador hasta el tanque elevado

En la figura 13 se observa la trayectoria de la filtración del agua gris, conectadas por las tuberías de PVC de $\varnothing 2''$, desde el sedimentador (S) hasta su almacenamiento en el tanque elevado de 1100 litros, también se contempla el sistema de captación pluvial que colecta agua en el techo canalada y derivada al tloaque que retiene la primera cantidad de 40 litros de agua pluvial, para luego alimentar al mismo tanque donde se almacena el agua filtrada.

Todo el sistema de filtración y sus partes se detalla a continuación:

El sedimentador (S) de 0,60 m de diámetro y 1,0 m de altura, tiene la función de retener las partículas de mayor densidad, estas partículas al pasar por debajo de la primera trampa de sedimentos, queda atrapada en la parte inferior del sedimentador, sin posibilidad de rebasar la segunda trampa de sedimentos. Las partículas sedimentadas se pueden purgar por la tubería de $\Phi 4''$ al accionar la válvula instalada en la base del sedimentador, también el exceso de agua gris se puede evacuar por la tubería de $\Phi 2''$.

Los prefiltros de grava (PG) de 0,60 m de largo, 0,50 m de ancho y 0,40 m de altura cumplen la función de retener las partículas en suspensión que no fueron sedimentadas en el proceso anterior, el primer prefiltro cuenta con dos pantallas perpendiculares a la trayectoria del agua gris, estas pantallas retienen las partículas en suspensión de menor densidad, para luego alimentar con caudal de 0,5 L/min. a los lechos de grava de diámetros de 4 cm, 3 cm, 1,5 cm y 1 cm, con la finalidad de reducir la turbiedad del agua gris. En el caso de mantenimiento o uso del agua de la precipitación pluvial, los prefiltros se pueden purgar por la tubería de $\Phi 2''$ accionando la válvula instala debajo de los prefiltros.

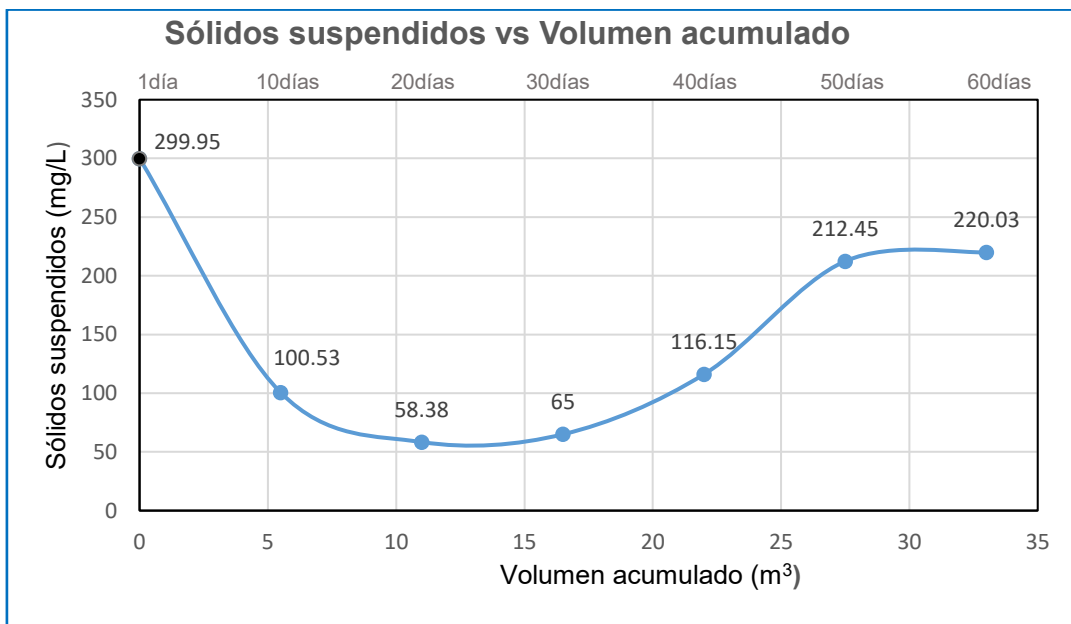
El filtro lento de arena (FLA) de 0,60 m de diámetro y 1,10 m de altura, está constituida en forma ascendente por 0,20 m de espesor de grava de tamaño 3 a 10 mm, seguida de 0,20 m de espesor de arena gruesa de tamaño de 0,5 a 4,0 mm y 0,40 m de espesor de arena fina de tamaño de partícula de 0,25 a 1,5 mm (ver Figura 7), Este filtro lento de arena tiene la función de eliminar los sólidos suspendidos y reducir al máximo la turbiedad de agua prefiltrada en el proceso anterior, el filtro tiene la capacidad de funcionar con un caudal de 0,95 L/min. hasta 1,42 L/min. que alimenta al tanque de almacenamiento por una tubería de $\Phi 2''$.

El periodo de filtración del agua gris en el sistema se detalla a continuación:

En la figura 14 se describe la curva de operación del lecho filtrante, que inicia con la reducción considerable de SST de 299,95 mg/L hasta 58,38 mg/L, por la retención de las partículas por los medios porosos. Entre los días 15 y 35 la filtración es casi constante, a partir del punto de 65 mg/L para adelante, la curva de operación del filtro se ve comprometida, con un incremento del valor de SST hasta 220,03 mg/L.

Figura 14

Periodo de filtración de sólidos suspendidos totales del agua gris



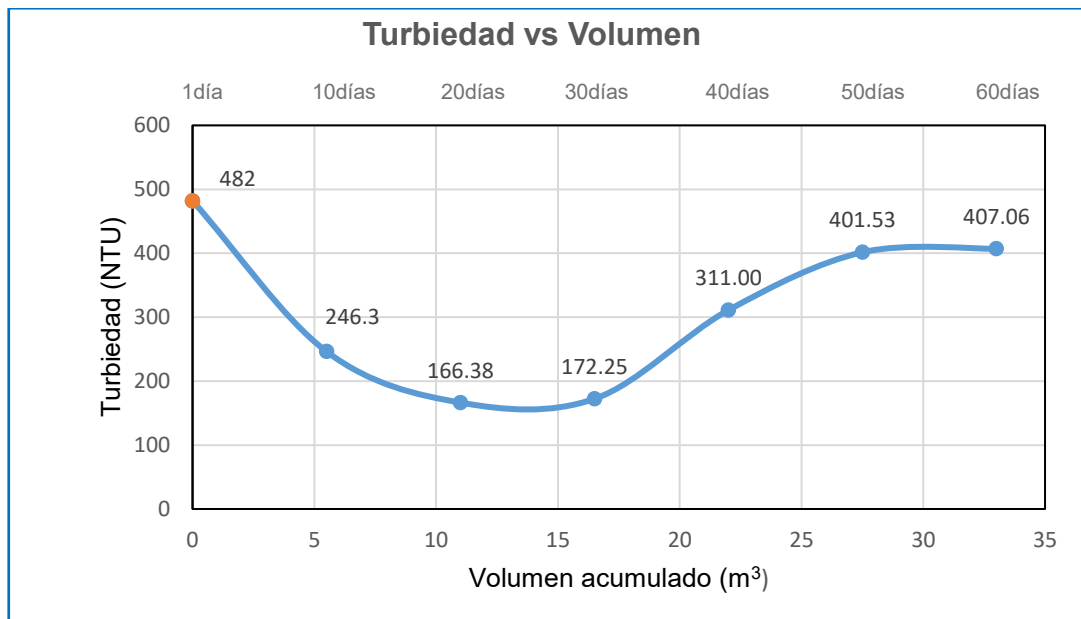
Nota. Comportamiento de los SST frente al medio poroso del filtro.

En la figura 14 se observa que los sólidos suspendidos totales de 299,95 mg/L se reduce en concentración hasta 100,53 mg/L en los primeros 10 días de operación del sistema de filtración, en este periodo de maduración, sobre la arena fina se forma la capa biológica, estos microorganismos eliminan contaminantes, restos de materia orgánica. En el rango de los 10 y 40 días, la filtración opera en forma continua hasta disminuir la concentración de SST a 58,38 mg/L y 65 mg/L, es importante señalar que durante este periodo de días se lleva acabo el proceso real de la filtración biológica, física y química en el lecho del filtro, pero a partir de los 40 días en adelante, el filtro de arena comienza a perder su capacidad de filtración, con un incremento del SST de 116,15 mg/L hasta 212,45 mg/L en los 50 días y 220,03 mg/L en los 60 días de operación.

Como el filtro empieza a disminuir en su caudal de operación por la saturación de los medios porosos del lecho y el tiempo de filtración disminuye, se procede al mantenimiento del filtro; con el retiro de la capa superficial biológica y lavado del lecho a contracorriente, como también el lavado de los prefiltros y limpieza general de las partes del sistema de tratamiento del agua gris, para no poner en peligro el abastecimiento de agua filtrada a los sanitarios.

Figura 15

Periodo de filtración de la turbiedad del agua gris



Nota. Comportamiento de la turbiedad frente al medio poroso del filtro.

En la figura 15 se observa que la turbiedad del agua gris siguió la tendencia del periodo de maduración en los primeros 10 días, con reducción de la turbiedad desde 482,0 NTU hasta 246,3 NTU, entre los 20 y 30 días de operación del filtro, la turbiedad del agua disminuye hasta 166,38 NTU y 172,25 NTU y posterior a los 40 días, el sistema de filtración empieza a perder su capacidad de retener las partículas, con un incremento de la turbiedad a 311,0 NTU en el día 40 y a partir del día 50 hasta el día 60 la turbiedad es muy elevada de 401,53 NTU y 407,06 NTU. Estos valores indican que el sistema de filtración necesita su mantenimiento general.

Con respecto a lo mencionado, el diseño del sistema de filtración del agua gris y el sistema de captación pluvial permite disponer de agua para satisfacer la demanda en los sanitarios, dentro de los parámetros establecidos.

Este diseño es respaldado por Azabache et al. (2020) que presentó una propuesta de diseño de sistema de reutilización de las aguas grises, el cual trabajó con caja de pre-recolección, seguido por un sistema de bombeo con una tubería de succión e impulsión de \varnothing 1 pulgada hasta un tanque de sedimentación de capacidad de 60 L, luego de la sedimentación, el agua gris es alimentada al tanque de filtración de lecho de piedra media de \varnothing 4", piedra chancada de \varnothing 2" a 3", gravilla, arena y carbón artesanal (ver Anexo 1, figura 17), el agua filtrada es almacenada en un tanque de polietileno de capacidad de 60 L, conectada por la base con una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada hacia el inodoro.

5.3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA FILTRADA

Luego de someter el agua gris al sistema de filtración, se extrajo muestras de un litro de agua filtrado en el periodo de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días. En la tabla 16 se muestra los resultados de las características del agua filtrada (más detalles anexo 7).

Tabla 16

Periodo de filtración del agua y parámetros analizados para el volumen acumulado

Parámetros analizados por día (1)	Volumen acumulado (m ³) (2)	pH (unidad) (3)	Sólido suspendido total (mg/L) (4)	Turbiedad (NTU) (5)	DBO ₅ (mg/L) (6)	% Remoción SST (7)	% Remoción turbiedad (8)
Agua gris (no filtrada)		5,56	299,95	482	224,11		
Agua filtrada (día 10)	5,5	6,86	100,53	246,30	180,56	66,48	48,90
Agua filtrada (día 20)	11,0	6,80	58,38	166,38	145,60	80,54	65,48
Agua filtrada (día 30)	16,5	6,20	65,00	172,25	148,55	78,33	64,26
Agua filtrada (día 40)	22,0	6,24	116,15	311,00	201,73	61,28	35,48
Agua filtrada (día 50)	27,5	6,75	212,45	401,53	210,79	29,17	16,69
Agua filtrada (día 60)	33,0	6,55	220,03	407,06	213,02	26,64	15,55

Nota. El volumen acumulado en el transcurso de los días de operación del filtro.

Las discusiones de la tabla 16 de detallan a continuación:

En la columna (1) y (2) de la tabla 16 se tiene el periodo de operación de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días con el volumen acumulado de 5,5, 11, 16,5, 22, 27,5 y 33 m³

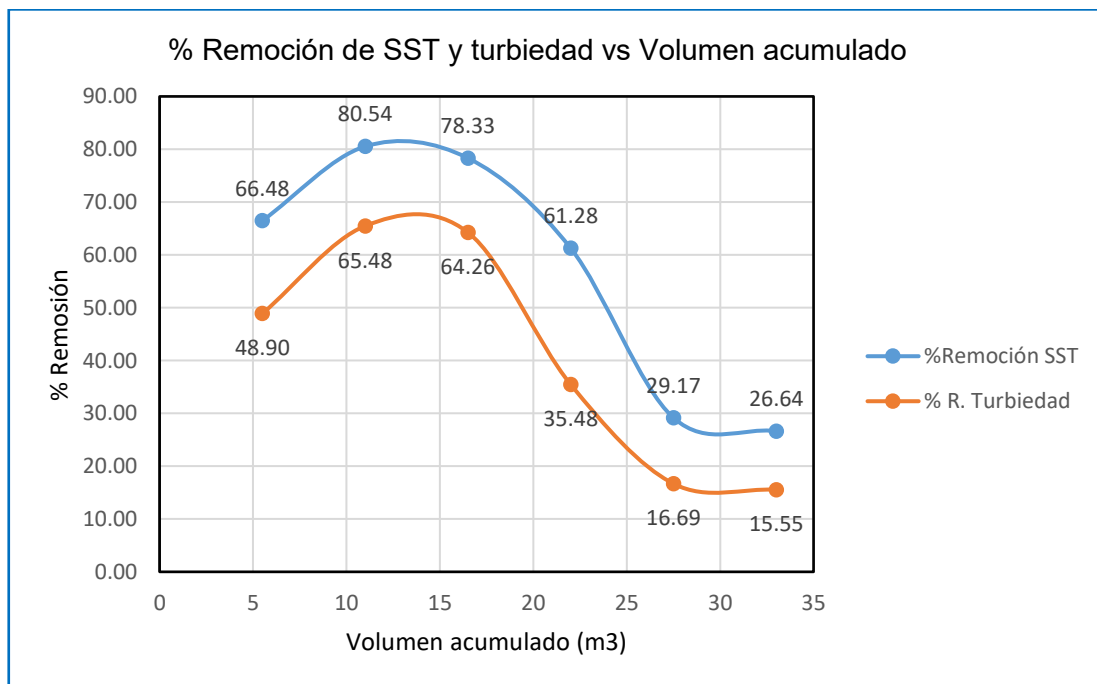
respectivamente, de cada volumen se tomó la muestra para su análisis físico y químico del agua filtrada. También en la columna (3) se observa el comportamiento del pH, que inicia con 5,56 y luego del proceso de filtración, el agua disminuye su acidez hasta un pH de 6,86 y con un ligero incremento de acidez hasta el pH de 6,20 en el día 30.

En la columna (4) se muestra que los sólidos suspendidos totales de 299,95 mg/L, luego de someter al sistema de filtración, la concentración de SST disminuye hasta 58,38 mg/L y 65 m/L, con una remoción en promedio de 80,54 % y 78,33 % de sólidos suspendidos presentes en el agua gris en el periodo de 20 y 30 días. A partir del día 40 hacia adelante el porcentaje de remoción disminuye hasta 26,64 % (ver figura 16).

En la columna (5) se observa que la turbiedad de 482 NTU del agua gris disminuyó hasta 166,38 NTU y 172,25 NTU en el sistema de filtración, con una remoción promedio de 65,5 % y 64,26 % de la turbiedad del agua gris en el periodo de 20 y 30 días. Del día 40 hacia adelante la capacidad del filtro se ve comprometida, con la reducción del porcentaje remoción de la turbiedad hasta 15,55 % (ver figura 16).

Figura 16

Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales y turbiedad



Nota. Porcentaje máxima de remoción de partículas durante el proceso de la filtración

Con el objetivo de determinar las características físicas y químicas del agua filtrada para disponer de agua en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho, se encontró que los resultados de mayor eficiencia de sólidos suspendidos totales fueron de 58,38 mg/L y la turbiedad de 166,38 NTU, asimismo, el pH fue de 6,86 y el DBO₅ de 145,60 mg/L. Obteniendo como resultados de remoción máxima de sólidos suspendidos totales de 80,54 % y la turbiedad de 65,48 % (ver figura 16).

Estos resultados son respaldados por Azabache et al. (2020) que sometieron a filtración de 0,75 m³/ día de agua gris, obteniendo la reducción en 52,68 % de los sólidos totales disueltos (721 mg/L hasta 412 mg/L) y en 65,50 % de DBO₅ (112 mg/L hasta 30 mg/L).

En este estudio realizado al someter el agua gris al sistema de filtración, se obtuvieron los resultados de sólidos suspendidos totales de 58,38 mg/L y la turbiedad de 166,38 NTU como máximo, estos valores superan los parámetros internacionales, que indican que el SST debe ser menor o igual de 5 mg/L y la turbiedad menor o igual de 10 NTU, como se indicadas en la tabla 15.

Frente a lo indicado se rechaza la hipótesis de que características físico y químicas del agua filtrada están dentro de los parámetros internacionales de sólidos suspendidos totales ($SST \leq 10$ mg/L), turbiedad ($T_o \leq 5$ NTU) y pH (5 a 9,5), para disponer de agua en los sanitarios.

5.4. SOSTENIBILIDAD DEL AGUA EN LA CIUDAD DE AYACUCHO

Con el objetivo de determinar la influencia del aprovechamiento del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho, se pudo encontrar que el costo de instalación del tratamiento del agua gris asciende hasta 5245,0 soles y de captación del agua pluvial asciende hasta 2003,0 soles.

El costo total del sistema de aprovechamiento del agua gris y pluvial es de 7248,0 soles, que incide directamente en el costo de construcción de toda la edificación, este monto invertido se podrá recuperar en 24 años, que mensualmente se podrá aproximadamente ahorrar el monto de 25 soles por 15 m³ de agua no consumida de la red pública, como se especifica en el anexo 8, este ahorro de 15 m³ de agua podrá favorecer a una nueva instalación de una familia de la zona de déficit hídrica, también los 15 m³ de agua gris sometida al tratamiento disminuirá la cantidad de agua

contaminada a red de alcantarillado, aliviando la cantidad de tratamiento de agua en la planta de tratamiento de agua servidas y disminuyendo el impacto en el medio ambiente.

Comprobado el objetivo, se acepta la hipótesis de que el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en forma positiva en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho.

Lo mencionado es respaldado por Romero (2019), que luego de reutilizar el agua gris, obtuvo un aumento número de beneficiarios del agua potable a 8166 nuevas familias y una reducción de 23,3 % cantidad de vertido de agua residual a la red pública.

CONCLUSIONES

Se evaluó el uso del agua gris en una edificación de cuatro pisos, en global se determinó el caudal disponible de agua gris de 1266 L por día, de este volumen se sometió 550 litros al sistema de filtración para cubrir la demanda de 520 litros de agua tratada por el sanitario cada piso. También se evaluó la captación del agua pluvial en un área de techo de 25 m² hacia una canaleta de 4 pulgadas y un interceptor de primeras lluvias de 40 litros para luego almacenar en un tanque de 1100 litros.

a) Se determinó las características físicas y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho, estos parámetros fueron; turbiedad de 482 NTU, sólidos suspendidos totales de 299,95 mg/L, DBO₅ de 224,11 mg/L y el pH de 5,56, las características determinadas no tienen conformidad con los parámetros internacionales de turbiedad ≤ 5 NTU, SST ≤ 10 mg/L y DBO₅ ≤ 10 mg/L y la norma peruana de Estándar de Calidad Ambiental (pH de 6,5 – 8,5).

b) Se diseñó el sistema de filtración de tres etapas, constituida por el sedimentador (S), prefiltro de grava (PG) y un filtro lento de arena (FLA) para tratar el agua gris y almacenarla en un tanque elevado de 1100 L, que también será alimentada por el agua pluvial captada en el techo de 25 m² en periodos de precipitación pluvial.

c) Se determinó las características físicas y químicas del agua filtrada para disponer de agua en los sanitarios, estos parámetros fueron; pH de 6,68, turbiedad de 166,38 NTU, sólidos suspendidos totales de 58,38 mg/L y DBO₅ de 145,60 mg/L, con una remoción máxima de turbiedad de 65,48 % y sólidos suspendidos totales de 80,54 % durante la operación del sistema de filtración en el periodo de 60 días.

d) Se determinó que el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en la sostenibilidad de agua potable, para ello se tendrá que invertir 7248,0 soles en la instalación del sistema de uso de agua gris y pluvial, con periodo de recuperación de 24 años, que consiste en el ahorro mensual aproximado de 25 soles por 15 m³ de agua no consumida de la red pública de la ciudad de Ayacucho. Este volumen de 15 m³ de agua ahorrada por mes se podrá disponer en una nueva instalación para las familias de la zona de déficit hídrica para superar la desigualdad social, también el aprovechamiento de agua gris, fomenta la disminución en el impacto ambiental al recurso hídrico en el tratamiento de aguas servidas.

RECOMENDACIONES

- a) Las autoridades y los profesionales del sector ambiental deben de incentivar el uso del agua pluvial y del agua gris , porque contribuye en la reducción del consumo del agua potable a pesar que la inversión en la instalación es alto.
- b) También se debe de reglamentar el uso de agua pluvial y del agua gris en las futuras construcciones de edificios de alto consumo de agua, con incentivos de descuentos en la tarifa de consumo de agua potable.
- c) En las futuras investigaciones relacionados al tema , se debe incidir en nuevos sistemas de uso de agua pluvial para la región selva, donde la precipitación pluvial es constante, y el uso del agua gris en las zonas donde la precipitación pluvial es escaza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIONA. (2016). *Sostenibilidad para todos*.
https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/que-es-la-sostenibilidad/?_adin=02021864894.
- AH₂ORRA. (2014). *Guía sobre medidas de ahorro y coverción en el consumo de agua en industrias y edificios industirales*. Murcia, España:
https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2014/09/GUIA_AHORRO_AGUA_INDUSTRIA.pdf. Obtenido de Guía sobre medidas de ahorro y coverción en el consumo de agua en industrias y edificios industirales.
- Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises . version 2*,
<https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>.
- Aqua España. (2016). *Gía técnica de recomendaciones para el reciclaje del agua gris en edificios*.
<https://aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf>.
- Ávila, I., & Moreno, M. (2016). *Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima*. (Tesis de Maestría), Universidad Libre, Bogotá
Colombia:<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO%20SEMINARIO%20FILTRO%20ARENA%20ULTIMA%20ENTREGA%20JUNIO%202011.pdf?sequence=1>.
- Azabache, Y., Rojas, K., Irigoín, S., Rodriguez, R., & Quispe, B. (2020). *Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en las viviendas familiares*. *Revista Manglar* 17(2): 169-176,
<https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/163/299>.
- Banco Mundial. (2020). *Agua residual de residuo a reuso. Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*,
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative#documentos>.
- Bermudez, D. J. (2018). *Eficiencia Hídrica en edificios no residenciales de tipo colectivo (Hoteles)*. (tesis maestría). Escuela superior de tecnología y gestión del instituto politecnico de Leira, Ecuador :
<https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3607/1/Eficiencia%20BH%C3%ADdrica%20Ben%20Edificios%20Bno%20Residenciales%20de%2>
- Cadena, S. A., & Carcelén , S. E. (2021). *Diseño de un sistema de reutilización de aguas grises para la descargas de inodoros y riego de jardín*. (Tesis Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22107/1/CD%2011602.pdf>.

- Chavez, E. A., & Mayhua, C. J. (23 de 09 de 2019). *Diseño de un sistema de reutilización de agua grises y aprovechamiento de aguas pluviales para un proyecto urbanístico de 12 hectarias ubicado en el distrito de Pimentel-Chiclayo-Lambayeque*. (tesis pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Perú:
https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6033/chavez_aea-mayhua_bcj.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Congreso de la república. (2005). *Ley general del medio ambiente*.
<http://biblioteca.unmsm.edu.pe/REdlieds/Recursos/ultimasLeyes/Ley28611.pdf>.
- Costales, V. (22 de febrero de 2020). *Tecnología para reutilizar el agua en edificios. Guía para la casa ideal*, págs.
<https://www.elcomercio.com/construir/tecnologia-sistemas-tratamiento-aguas-grises.html>.
- Cruz, J. C., Gomez, D. F., & Sánchez, L. K. (2014). *Aplicación electrónica para el ahorro del agua en una vivienda familiar*. *Entramado*, vol. 10, núm. 2, pp. 322-335.
<https://www.redalyc.org/pdf/2654/265433711021.pdf>.
- Demartine, J., & Bertoni, A. &. (2018). *Recolección y reutilización de las aguas de lluvia en edificios como beneficio para las ciudades*. Argentina:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/71359/Documento_completo.pdf?sequence=1.
- Díaz, M. A., Decinti, A., Blanco, D., & Vasquez, K. (2021). *Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo - Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile*. *Informes de la Construcción* Vol. 73, 563, e408 - Chile :
<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/6078>.
- Espinoza, G. (2019). *Sostenibilidad ambiental, importancia y acciones para su fomento*. <https://naturaleza.animalesbiologia.com//ecologia/sostenibilidad-ambiental-importancia-acciones-para-su-fo>.
- Fundación MAPFRE. (2011). *Guía de Hidroeficiencia industrial*.
<https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2013/05/guia-hidroeficiencia-industrial.pdf>.
- Gobierno de Chile. (2018). *Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises*.
<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Grises.pdf>.
- Gomez Wagner, C. (2017). *Sustentabilidad ambiental, sustentabilidad económica y sustentabilidad social. (artículo)*,
<https://www.bioguia.com/entretenimiento/sustentabilidad-ambiental-sustentabilidad-economica-y-sustentabilidad>.

- González, S. (2019). *Sistema para la reutilización de agua de lluvia*. aqua Ambiental ibérica, S.L., <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/247465-Aprovechamiento-de-aguas-pluviales.html>.
- GORE. (2018). *Plan Regional de Saneamiento en Ayacucho 2018- 2021*. <http://direccionsaneamiento.vivienda.gob.pe/Planes%20Regionales%20de%20Saneami>.
- Herrera, H. A., & García, P. A. (2021). *Diseño de un prototipo para la reutilización de aguas grises en viviendas*. (Tesis pregrado) Universidad Católica de Colombia: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/8daa882f-8ac9-4c27-9214-bce63c80fa94/content>.
- Herrero, R. (2015). *Un mundo más sostenible*. (blog), <https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/hacer-uso-sostenible-agua-utopia-o-realidad>.
- INEI. (Junio de 2020). , *Instituto Nacional de Estadística e Informática. Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- Marjori, R. G. (2015). *Calidad del agua de los sistemas de abastecimiento de agua del área periurbano de la provincia de Leoncio Prado*. (informe), https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PPP-FINAL%20CD.pdf.
- Megía Piña, G. E., & Salamea Cobos, P. A. (2011). *Diseño de un sistema para reciclado, control y utilización de agua de lluvia en la ciudad de Cuenca*. (Tesis Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador: www.dspace.ups.edu.ec.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2018). *Norma Técnica de diseño de opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*. Perú: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1743222/ANEXO%20RM%20192-2018-VIVIENDA%20B.pdf.pdf>.
- Norma OS.020. (2016). *Planta de tratamiento de agua para consumo humano*. Perú: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamaria-del-mar/informes-publicaciones/2619683>.
- Ortiz, W., & Velandia, W. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*. (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia.: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15502/1/5_TRABAJO%20ODE%20GRADO..pdf. <http://www.lineaverdeciedadreal.com>

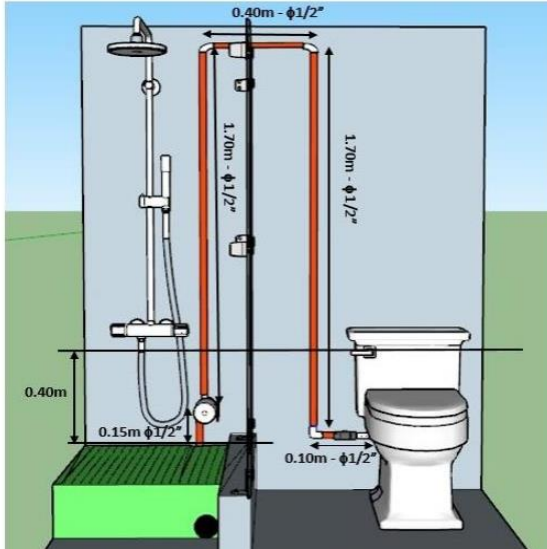
- Proinstalaciones. (2020). *Instalaciones centralizadas para la reutilización del agua en los edificios*.
<https://www.proinstalaciones.com/articulos/tecnico/4557-instalaciones-centralizadas-para-la-reutilizacion-del-agu>.
- Rojas López, K. (2018). *Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en viviendas familiare en el distrito de Jepelacio-2017*. Tesis.
- Rojas Romero, J. C. (2019). *Impacto de la reutilización del agua gris en la sostenibilidad del agua potable de la ciudad de Huancayo, 2017*. Tesis.
- Romero Rojas , J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales* . Colombia: escuela de Colombia de ingeniería, tercera edición.
- rss. (2021). Responsabilidad social empresarial y sustentabilidad. *Artículo RSE*,
<https://www.responsabilidadsocial.net/sostenibilidad-que-es-definicion-concepto-tipos-y-ejemplos/>.
- Sarar, T. (2016). *Sistema doméstico de cosecha de agua lluvia*.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GUTI%C3%89RR EZ%20y%20BULNES%202016.%20Si.
- Solsona, F., & Méndez, J. (2002). *Desinfección de agua*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente- Perú:
<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52807/DESINFECCIONAGUA CEPIS-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Streeter, V. L. (2000). *Mecánica de fluidos*. 9na ed.: MC, GRAW HILL.
- Vara, A. (2015). *7 pasos para elaborar una tesis*. Lima: Universidad de San Martín de Porres.

ANEXOS

Anexo 1

Figura 17

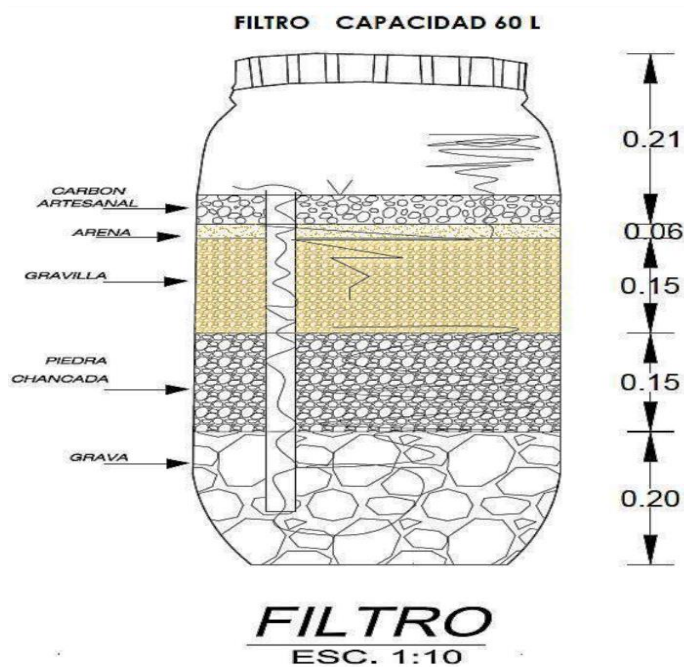
Prototipo con captación, bomba, red de tuberías y accesorios



*Nota. Sistema de reutilización de agua de la ducha en el inodoro. Herrera & García (2021).
<https://repository.ucatolica.edu.co/>*

Figura 18

Filtro con materiales de diferentes diámetros

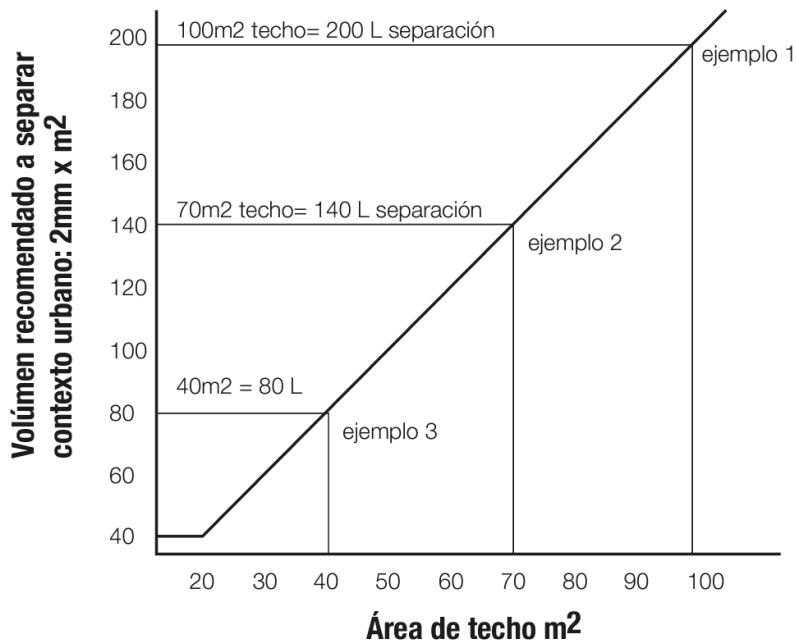
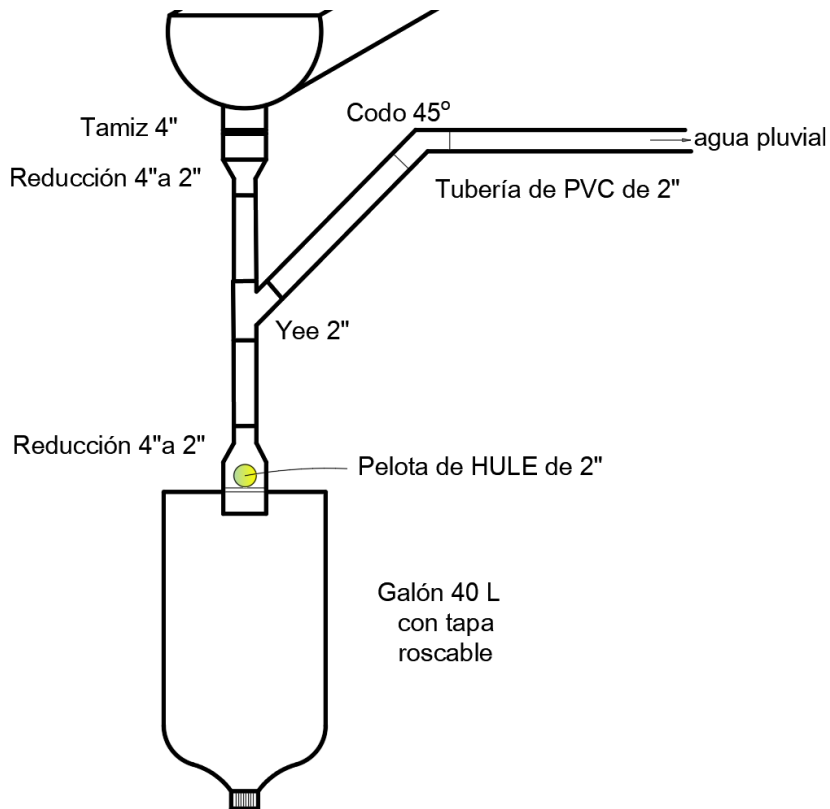


Nota. Sistema de filtración de agua gris. Azabache et al. (2020)

Anexo 2

Figura 19

Despiece interceptor de primeras lluvias



Nota: Volumen de agua pluvial retenida en el tlaloque por área de techo (<https://www.engineeringforchange.org/wp-content/uploads/2020/07/FICHA-TECNICA-KIT-TLALOC-ch.pdf>)

Anexo 3

Figura 20

Plano de captación de agua gris y distribución de agua filtrada

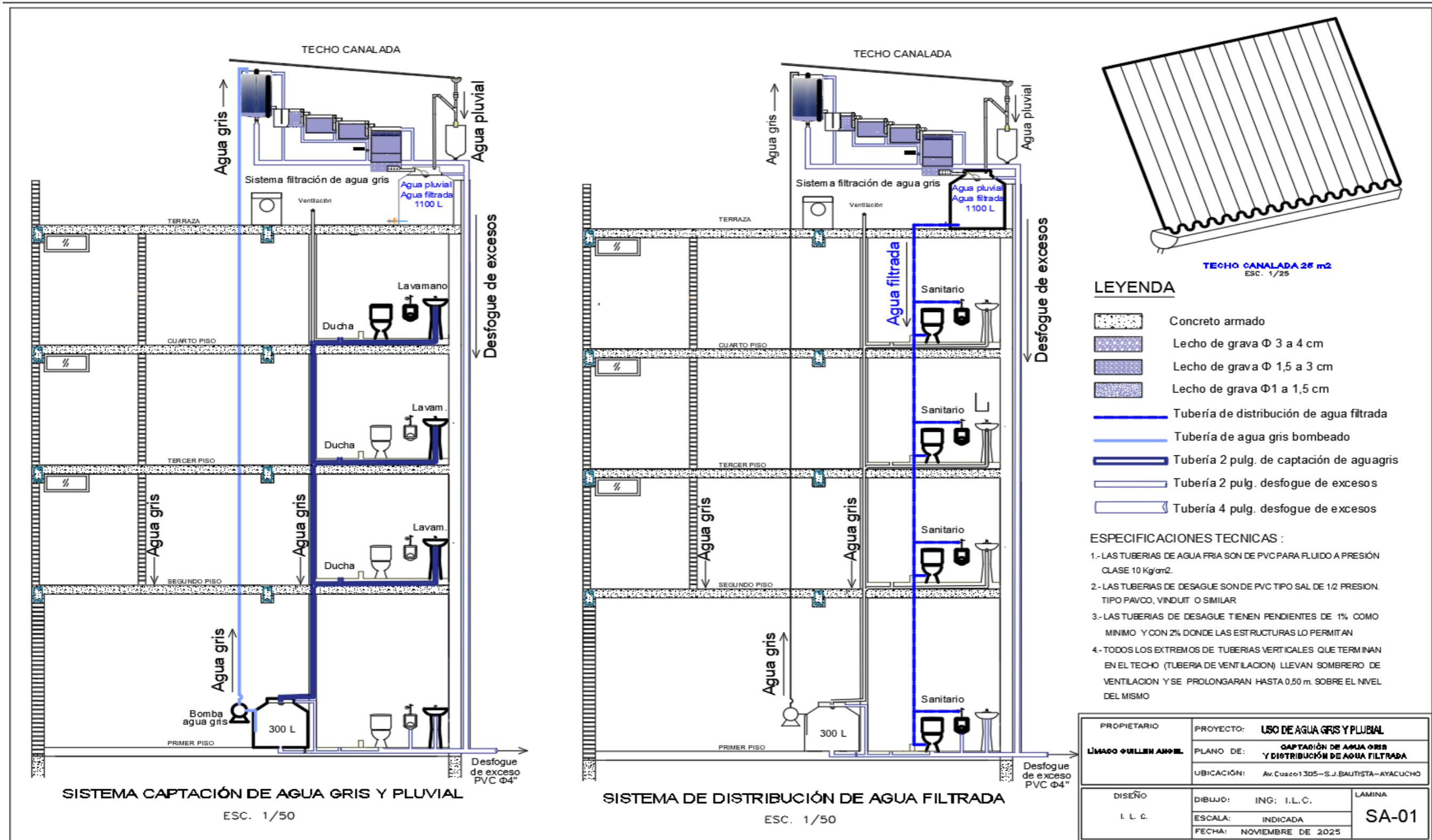
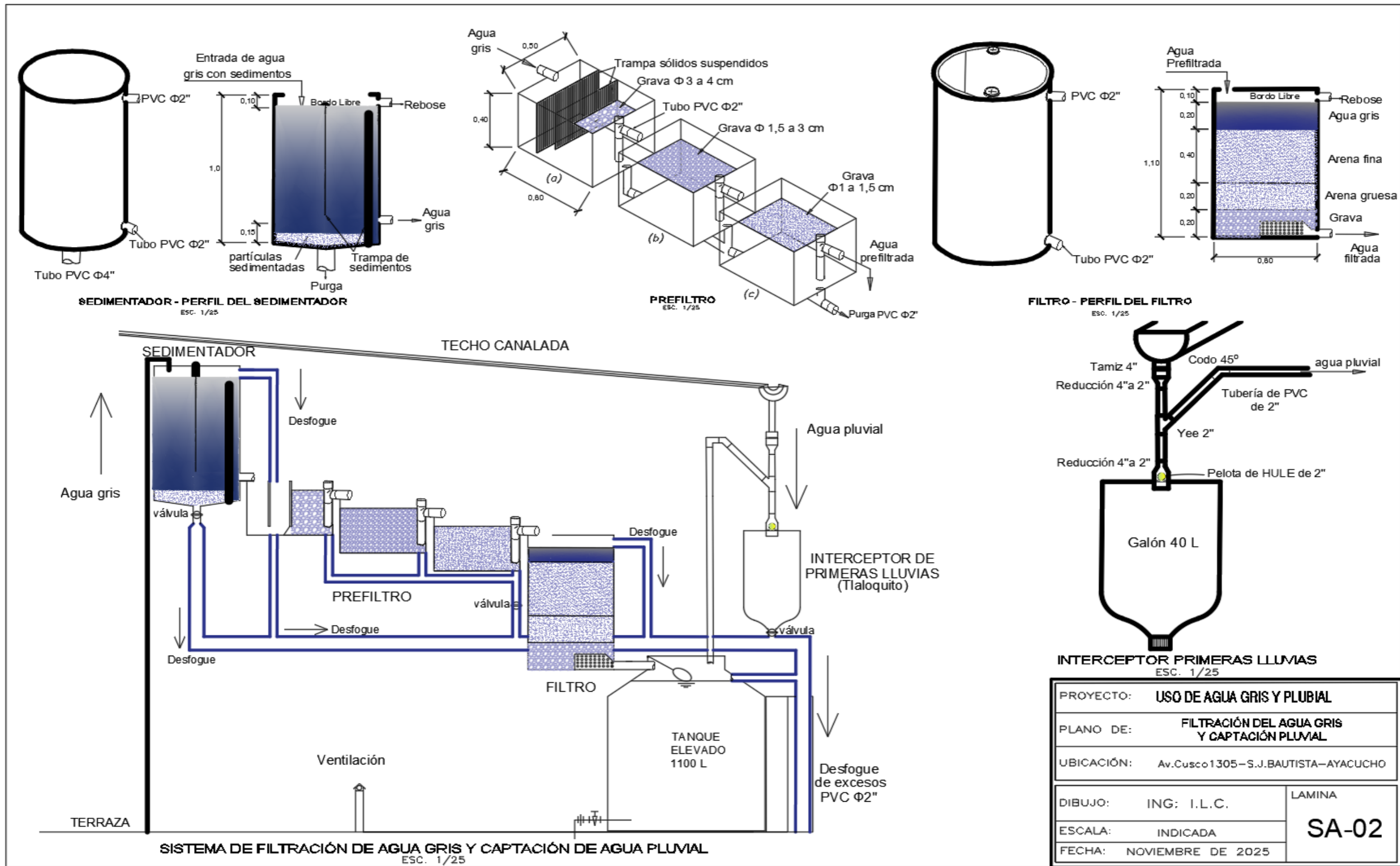


Figura 21

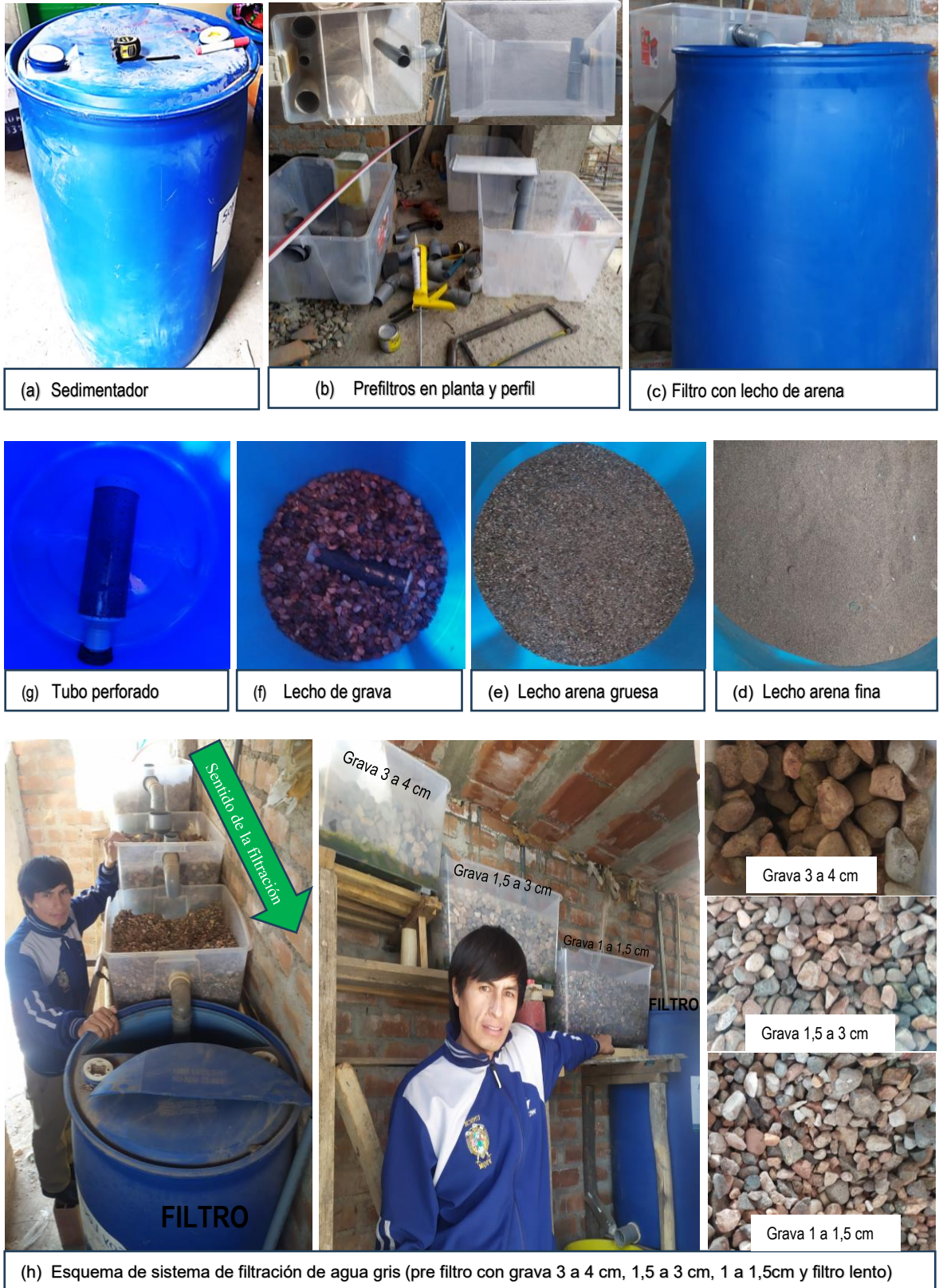
Detalles del sistema de filtración del agua gris y captación pluvial

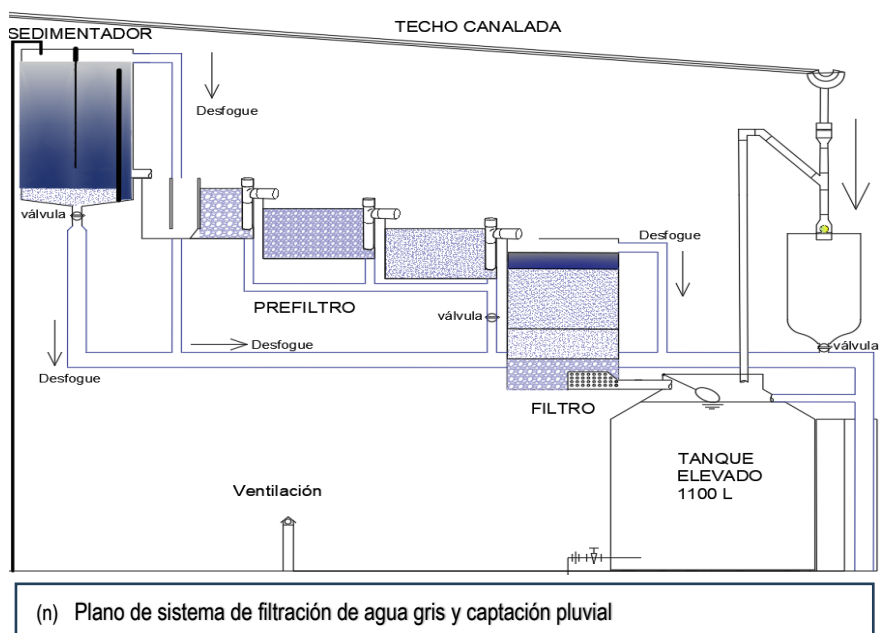


Anexo 4

Figura 22

Fotos de construcción de sistema de filtración del agua gris





Anexo 5

Control de calidad de agua potable en la edificación



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Ayacucho, 21 de Junio del 2024

INFORME N° D00042-2024-SEDA AYACUCHO-DCC

A : **EDWIN IVAN RODRIGUEZ QUISPE**
GERENTE OPERACIONAL

De : **MAGALI MEZA LAZARO**
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

Asunto : REMITE RESULTADO DEL ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA POTABLE SOLICITADO POR ISAI LÍMACO CARPIO..

Referencia : PROVEIDO N° D000366-2024-SEDA AYACUCHO-GOP (31MAY2024)

Fecha Elaboración: Ayacucho, 21 de junio de 2024

A través del presente, me dirijo a usted para saludarlo y en atención al documento de la referencia, adjunto al presente informe lo solicitado.

Es cuanto informo a usted para su conocimiento y fines.

Documento firmado digitalmente
MAGALI MEZA LAZARO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

MML
cc.:



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



35

**INFORME DE ENSAYO
MA2409110 Rev. 0**

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AYACUCHO S.A

JR. MANCO CAPAC NRO. 342 URB. CERCADO AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO

ENV / LB-353650-010

PROCEDENCIA : SURTIDOR REDES DISTRIBUCION

Fecha de Recepción SGS : 21-03-2024
Fecha de Ejecución : Del 21-03-2024 al 31-03-2024
Muestreo Realizado Por : CLIENTE
Observación : SURTIDOR REDES DISTRIBUCION

Estación de Muestreo
SURTIDOR (AV. VENEZUELA S/N)

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 31/03/2024

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 5



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



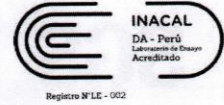
Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2409110 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					SURTIDOR (AV. VENEZUELA S/N)	
FECHA DE MUESTREO					19/03/2024	
HORA DE MUESTREO					16:00:00	
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	
SUB CATEGORIA					AGUA DE BEBIDA	
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	
Clorato, Clorito						
Clorato	EW EPA300_0_CLO	mg/L	0.012	0.038	<0.038	
Clorito	EW EPA300_0_CLO	mg/L	0.013	0.041	<0.041	
Métodos Totales						
Aluminio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.134 ± 0.012	
Antimonio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	<0.00013	
Arsénico Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	
Bario Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0398 ± 0.0036	
Berilio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Bismuto Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	
Boro Total	EW EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.007 ± 0.0010	
Cadmio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	
Calcio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	4.306 ± 0.43	
Cenizo Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	
Cesio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0005 ± 0.00010	
Cobalto Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	
Cobre Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.02243 ± 0.0056	
Cromo Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	
Estaño Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	
Estroncio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.1045 ± 0.0094	
Fósforo Total	EW EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	<0.047	
Galio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	
Germanio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Hafnio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	
Hierro Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.0248 ± 0.0020	
Lantano Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	
Litio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0020 ± 0.00020	
Lutecio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Magnesio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	2.647 ± 0.32	
Manganeso Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00405 ± 0.00028	
Mercurio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	
Molibdeno Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00021 ± 0.000050	
Niobio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	
Niquel Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Plata Total	EW EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	
Plomo Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Potasio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	2.22 ± 0.18	
Rubidio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0070 ± 0.00070	
Selenio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	
Silice Total	EW EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	23.10 ± 2.77	
Silicio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.040	0.128	10.799 ± 1.30	
Sodio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	5.973 ± 0.66	
Talio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Tantalio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	
Teluro Total	EW EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	
Thorio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	
Titanio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0018 ± 0.00020	
Uranio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	
Vanadio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	
Wolframio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	
Yterbio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	
Zinc Total	EW EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	<0.0026	
Zirconio Total	EW EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	
Trihalometanos						
Bromodiclorometano	EW EPA8260 THM MG L	mg/L	0.0001	0.0002	0.0026 ± 0.00060	
Bromoformo (Tribromometano)	EW EPA8260 THM MG L	mg/L	0.0001	0.0002	<0.0002	
Clorodibromometano	EW EPA8260 THM MG L	mg/L	0.0001	0.0002	<0.0002	
Cloroformo	EW EPA8260 THM MG L	mg/L	0.0001	0.0002	0.0365 ± 0.0029	
Trihalometanos Totales	EW EPA8260 THM MG L	--	--	--	0.226	



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2409110 Rev. 0**

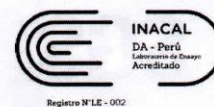
CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
 MB: Blanco del proceso
 LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
 MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
 MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
 Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Clorato	mg/L	0.038	<0.038		99 - 100%	100%	0 - 1%
Clorito	mg/L	0.041	<0.041		98 - 100%	100%	0%
Aluminio Total	mg/L	0.003	<0.003	0%	99 - 100%	95 - 103%	8%
Antimonio Total	mg/L	0.00013	<0.00013	0%	97 - 105%	96 - 104%	4%
Arsénico Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	91 - 94%	91 - 94%	2%
Bario Total	mg/L	0.0003	<0.0003	1%	95 - 109%	95 - 108%	7%
Berilio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	96 - 98%	94 - 97%	4%
Bismuto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	99 - 100%	98 - 100%	1%
Boro Total	mg/L	0.006	<0.006	8%	99 - 104%	92 - 94%	3%
Cadmio Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	96 - 106%	92 - 107%	12%
Calcio Total	mg/L	0.009	<0.009	5%	98 - 100%	91 - 100%	3%
Cerio Total	mg/L	0.00024	<0.00024	0%	101 - 108%	101 - 106%	0%
Cesio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	1%	101 - 109%	107 - 109%	1%
Cobalto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	1%	103 - 109%	93 - 108%	12%
Cobalto Total	mg/L	0.00009	<0.00009	4%	106 - 109%	98 - 108%	0%
Cobre Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	92 - 100%	102 - 106%	10%
Cromo Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	91 - 93%	95 - 96%	5%
Estaño Total	mg/L	0.0006	<0.0006	3%	106 - 107%	99 - 109%	8%
Estroncio Total	mg/L	0.047	<0.047	0%	98 - 106%	92 - 93%	2%
Galio Total	mg/L	0.00012	<0.00012	0%	104 - 105%	98 - 107%	1%
Germanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	95 - 107%	93 - 97%	1%
Hafnio Total	mg/L	0.00015	<0.00015	0%	99 - 101%	97 - 100%	0%
Hierro Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0%	95 - 100%	91 - 99%	12%
Lantano Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	108 - 109%	102 - 107%	2%
Litio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	2%	93 - 104%	99 - 107%	1%
Lutecio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	95 - 104%	102 - 105%	2%
Magnesio Total	mg/L	0.003	<0.003	0%	97 - 106%	96 - 101%	4%
Manganeso Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	99 - 103%	99 - 101%	2%
Mercurio Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0%	95 - 105%	99%	1%
Molibdeno Total	mg/L	0.00006	<0.00006	1%	96 - 100%	93 - 96%	0%
Niobio Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	96 - 99%	91 - 99%	3%
Niquel Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	105 - 108%	104 - 105%	3%
Plata Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0%	101 - 102%	102 - 104%	1%
Plomo Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	91 - 92%	94%	7%
Potasio Total	mg/L	0.13	<0.13	6%	102%	93 - 103%	1%
Rubidio Total	mg/L	0.0009	<0.0009	2%	103 - 109%	98 - 106%	3%
Selenio Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0%	100 - 103%	94 - 100%	4%
Silice Total	mg/L	0.27	<0.27	6%	92 - 108%	96 - 105%	1%
Silicio Total	mg/L	0.128	<0.128	6%	92 - 106%	96 - 105%	1%
Sodio Total	mg/L	0.019	<0.019	0%	97 - 101%	106 - 108%	4%
Talio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	104 - 106%	101 - 104%	0%
Tantalio Total	mg/L	0.0021	<0.0021	0%	97 - 98%	95 - 99%	5%
Teluro Total	mg/L	0.003	<0.003	0%	101 - 106%	93 - 97%	7%
Thorio Total	mg/L	0.00019	<0.00019	0%	93 - 98%	93 - 109%	0%
Titanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	1%	101 - 105%	97 - 102%	4%
Uranio Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	94 - 96%	95 - 96%	0%
Vanadio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	100 - 101%	99 - 104%	1%
Wolframio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	100 - 105%	93 - 106%	2%
Yterbio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	99%	96 - 99%	0%
Zinc Total	mg/L	0.0028	<0.0028	1%	97%	94 - 101%	2%
Zirconio Total	mg/L	0.00045	<0.00045	0%	104%	103%	0%
Bromodichlorometano	mg/L	0.0002	<0.0002		88 - 111%	101 - 102%	
Bromoforno (Tribromometano)	mg/L	0.0002	<0.0002		88 - 113%	102 - 107%	
Clorodibromometano	mg/L	0.0002	<0.0002		87 - 111%	105 - 107%	
Cloroforno	mg/L	0.0002	<0.0002		87 - 112%	107 - 114%	
Trihalometanos Totales		--	0.000				



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2409110 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_EPA200_8	Callao	Metales Totales	EPA- Method 200.8 Rev. 5.4, 1994. Determination of trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry. 2015 (VALIDADO – Aplicado fuera del alcance)
EW_EPA300_0_CLO	Callao	Clorito, Clorato	EPA 300.0, Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography.
EW_EPA8260_THM_MG_L	Callao	Trihalometanos	EPA 8260D Rev.4:2018. Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2409110 Rev. 0**

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Anexo 6

Características físicas y químicas del agua gris

INFORME DE ENSAYO N° 14050-24002 QU- DLRRSP -DIRESA LABORATORIO DE QUIMICA PROXIMAL

I. DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE DEL SOLICITANTE : LIMACO CARPIO, Isai
DIRECCION : Av. Cusco N°1305 – San Juan Bautista – Huamanga – Ayacucho.

II. DATOS DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO : AGUA GRIS
IDENTIFICACION : SAN JUAN BAUTISTA–SAN JUAN BAUTISTA–HUAMANGA–AYACUCHO.
HORA DE MUESTREO : Sin identificar
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO : San Juan Bautista; 08.04.2024.
FECHA DE RECEPCION : 08.04.2024.
NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO : SAN JUAN BAUTISTA
FUENTE DE CAPTACION : Sin identificar
ENVASE DECLARADO POR EL CLIENTE : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante

III. ANTECEDENTES

CANTIDAD MUESTREADA : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante
MUESTREADO POR : Isai LIMACO CARPIO.
REFERENCIA : Control de Calidad con fines de investigación.

IV. RESULTADOS

Físico Organoléptico:

ANALISIS	RESULTADOS		ESPECIFICACION
	M-1		
Olor	Jabon		Característico
Sabor	Característico		Característico
pH (Potenciométrico, 21,5°C)	5,65		6,5 – 8,5
Mat. flotantes de origen antropogénico	Ausencia		Ausencia
Sólidos en suspensión (mg/L)	299,95		45 – 350 mg/L
Turbiedad (UNT)	482,00		20 - 1000 UNT

Químico:

ANALISIS	RESULTADOS		ESPECIFICACION
	M-1		
Dureza (mg/L CaCO ₃)	39,79		500 mg/L
Nitritos (mg/L NO ₂)	0,76		10,00 mg/L
Nitratos(mg/L NO ₃)	4,60		100,00 mg/L
Arsénico (mg/L As)	0,00		0,1 mg/L
Fosfatos (mg/ PO ₄ ⁻²)	4,26		0,5 mg/L
Sulfatos (mg/SO ₄ ⁻²)	299,26		1000 mg/L
Hierro (mg/L Fe)	1,22		5,0 mg/L
Aluminio (mg/L Al)	0,25		5,0 mg/L
Fluoruros (mg/L F)	1,94		1,0 mg/L
Cromo Total (mg/L Cr)	1,56		0,1 mg/L
Cobre (mg/L Cu)	0,00		0,2 mg/L
Plomo (mg/L Pb)	2,50		0,05 mg/L
Cadmio (mg/L Cd)	0,29		0,01 mg/L
DBO ₅ (mg/L)	224,11		90 – 290 mg/L

V. METODOS DE ENSAYO

Método: Colorimétrico Spectroquant	• 0,005 – 5,00 mg/L Fe	• 25 – 300 mg/L SO ₄ ⁻²
• Intervalo del Método: 0,02 – 0,5 mg/L As	• 0,4 – 110,7 mg/L NO ₂	• 0,02 – 50,0 mg/L Al
• 0,03 – 15,3 mg/ PO ₄ ⁻³	• 0,10 – 20,0 mg/L F	• 0,02 – 6,69 mg/L CrO ₄
	• 0,007 – 3,28 mg/ L NO ₃ ⁻	• 0,02 – 6,00 mg/L Cu

VI. CONCLUSIONES

* De acuerdo a los resultados Físico Organolépticos y Químicos obtenidos y contrastados con los requisitos, se concluye que el producto de la referencia **NO ES CONFORME** con las Especificaciones del D.S.N°004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1 Riego de vegetales.

* Informe emitido en base a resultados obtenidos en nuestro Laboratorio.

* El presente informe se refiere únicamente a la muestra puntual y las cantidades indicadas siempre y cuando se mantengan las mismas condiciones de realizado el muestreo. Válido exclusivamente para los requisitos señalados. No se puede vincularse implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del Informe a ninguna otra unidad. No es válido si es fotocopia.

Documento Válido sólo para la muestra descrita en los puntos 1 y 2, por un período de 2 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Evaluated por: Jesús López Auris

Ayacucho, 16 de abril del 2024.

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
DIRECCION DEL LABORATORIO REGIONAL EN SALUD PUBLICA
Bigo. PAVEL ALONSO HUARPOMA MEDINA
DIRECTOR

Anexo 7

Calidad físico organoléptico del agua filtrada

INFORME DE ENSAYO N° 14050-24003 QU- DLRRSP -DIRESA LABORATORIO DE QUIMICA PROXIMAL

I. DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE DEL SOLICITANTE : LIMACO CARPIO, Isai
DIRECCION : Jr. M. Parado de Bellido S/N – San Juan Bautista – Huamanga – Ayacucho.

II. DATOS DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO : AGUA GRIS
IDENTIFICACIÓN : SAN JUAN BAUTISTA–SAN JUAN BAUTISTA–HUAMANGA–AYACUCHO.
HORA DE MUESTREO : Sin identificar
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO : San Juan Bautista; 10.05.24
FECHA DE RECEPCION : 10.05.2024
NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO : SAN JUAN BAUTISTA
FUENTE DE CAPTACION : Domicilio
ENVASE DECLARADO POR EL CLIENTE : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante

III. ANTECEDENTES

CANTIDAD MUESTREADA : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante
MUESTREADO POR : Isai LIMACO CARPIO.
REFERENCIA : Control de Calidad con fines de investigación.

IV. RESULTADOS

Físico Organoléptico:

ANALISIS	RESULTADOS	ESPECIFICACION
	M-1	
Olor	Inodoro	Característico
Sabor	Característico	Característico
pH (Potenciométrico 19,0°C)	6,86	6,5 – 8,5
Mat. Flotante de origen antropogénico	Ausencia	Ausencia
Sólidos en suspensión (mg/L)	100,53	45 – 350 mg/L
Turbiedad (UNT)	246,30	20 – 1000 UNT

Químico:

ANALISIS	RESULTADOS	ESPECIFICACION
	M-1	
Dureza (mg/L CaCO ₃)	25,9	500 mg/L
Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,74	10,00 mg/L
Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	4,20	100,00 mg/L
Arsénico (mg/L As)	0,00	0,1 mg/L
Fosfatos (mg/L PO ₄ ⁻³)	3,26	0,5 mg/L
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻²)	299,26	1000 mg/L
Hierro (mg/L Fe)	0,98	5,0 mg/L
Aluminio (mg/L Al)	0,23	5,0 mg/L
Fluoruros (mg/L F)	1,12	1,0 mg/L
Cromo Total (mg/L Cr)	1,23	0,1 mg/L
Cobre (mg/L Cu)	0,00	0,2 mg/L
Plomo (mg/L Pb)	2,18	0,05 mg/L
Cadmio (mg/L Cd)	0,25	0,01 mg/L
DBO ₅ (mg/L)	180,56	90 – 290 mg/L

V. METODOS DE ENSAYO

Método: Colorimétrico Spectroquant • Intervalo del Método: 0,02 – 0,5 mg/L As • 0,03 – 15,3 mg/L PO ₄ ⁻³	• 0,005 – 5,00 mg/L Fe • 0,4 – 110,7 mg/L NO ₂ ⁻ • 0,10 – 20,0 mg/L F • 0,007 – 3,28 mg/L NO ₃ ⁻	• 25 – 300 mg/L SO ₄ ⁻² • 0,02 – 50,0 mg/L Al • 0,02 – 6,69 mg/L CrO ₄ • 0,02 – 6,00 mg/L Cu
--	---	--

VI. CONCLUSIONES

* De acuerdo a los resultados Físico Organoléptico y Químicos obtenidos y contrastados con los requisitos, se concluye que el producto de la referencia **NO ES CONFORME** con las Especificaciones del D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1 Riego de vegetales.

* Informe emitido en base a resultados obtenidos en nuestro Laboratorio.

* El presente informe se refiere únicamente a la muestra puntual y las cantidades indicadas siempre y cuando se manténgalas mismas condiciones de realizado de muestreo. Válido exclusivamente para los requisitos señalados. No se puede vincularse implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del informe a ninguna otra unidad. No es válido si es fotocopia.

Documento Válido sólo para la muestra descrita en los puntos 1-y-2, por un período de 2 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Evaluated por: Jesús López Auris

Ayacucho, 17 de mayo del 2024.

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
DIRECCION DE LABORATORIO REGIONAL EN SALUD PUBLICA
Bigs. PAVEL FLORES HUARILUMA MEDINA
DIRECTOR

INFORME DE ENSAYO N° 14050-24004 QU- DL RRSF -DIRESA
LABORATORIO DE QUIMICA PROXIMAL

I. DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE DEL SOLICITANTE : LIMACO CARPIO, Isai
DIRECCION : Jr. M. Parado de Bellido S/N – San Juan Bautista – Huamanga – Ayacucho.

II. DATOS DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO : AGUA GRIS
IDENTIFICACIÓN : SAN JUAN BAUTISTA–SAN JUAN BAUTISTA–HUAMANGA–AYACUCHO.
HORA DE MUESTREO : Sin identificar
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO : San Juan Bautista; 20.05.24
FECHA DE RECEPCION : 20.05.2024
NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO : SAN JUAN BAUTISTA
FUENTE DE CAPTACION : Domicilio
ENVASE DECLARADO POR EL CLIENTE : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante

III. ANTECEDENTES

CANTIDAD MUESTREADA : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante
MUESTREADO POR : Isai LIMACO CARPIO.
REFERENCIA : Control de Calidad con fines de investigación.

IV. RESULTADOS

Físico Organoléptico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Olor	Inodoro	Característico
Sabor	Característico	Característico
pH (Potenciométrico 19,0°C)	6,80	6,5 – 8,5
Mat. Flotante de origen antropogénico	Ausencia	Ausencia
Sólidos en suspensión (mg/L)	58,38	45 – 350 mg/L
Turbiedad (UNT)	166,38	20 – 1000 UNT

Químico:

ANALISIS	RESULTADOS	ESPECIFICACION
	M-1	
Dureza (mg/L CaCO ₃)	22,8	500 mg/L
Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,71	10,00 mg/L
Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	3,90	100,00 mg/L
Arsénico (mg/L As)	0,00	0,1 mg/L
Fosfatos (mg/L PO ₄ ⁻³)	3,12	0,5 mg/L
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻²)	199,20	1000 mg/L
Hierro (mg/L Fe)	0,95	5,0 mg/L
Aluminio (mg/L Al)	0,20	5,0 mg/L
Fluoruros (mg/L F)	1,01	1,0 mg/L
Cromo Total (mg/L Cr)	1,15	0,1 mg/L
Cobre (mg/L Cu)	0,00	0,2 mg/L
Plomo (mg/L Pb)	2,15	0,05 mg/L
Cadmio (mg/L Cd)	0,17	0,01 mg/L
DBO ₅ (mg/L)	145,60	90 – 290 mg/L

V. METODOS DE ENSAYO

Método: Colorimétrico Spectroquant • Intervalo del Método: 0,02 – 0,5 mg/L As • 0,03 – 15,3 mg/L PO ₄ ⁻³	• 0,005 – 5,00 mg/L Fe • 0,4 – 110,7 mg/L NO ₂ ⁻ • 0,10 – 20,0 mg/L F • 0,007 – 3,28 mg/L NO ₃ ⁻	• 25 – 300 mg/L SO ₄ ⁻² • 0,02 – 50,0 mg/L Al • 0,02 – 6,69 mg/L CrO ₄ • 0,02 – 6,00 mg/L Cu
--	---	--

VI. CONCLUSIONES

* De acuerdo a los resultados Físico Organoléptico y Químicos obtenidos y contrastados con los requisitos, se concluye que el producto de la referencia **NO ES CONFORME** con las Especificaciones del D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1 Riego de vegetales.
* Informe emitido en base a resultados obtenidos en nuestro Laboratorio.
* El presente informe se refiere únicamente a la muestra puntual y las cantidades indicadas siempre y cuando se manténgalas mismas condiciones de realizado de muestreo. Válido exclusivamente para los requisitos señalados. No se puede vincularse implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del informe a ninguna otra unidad. No es válido si es fotocopia.
Documento Válido solo para la muestra descrita en los puntos 1 y 2 por un periodo de 2 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Evaluated por: Jesús López Auris

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
DIRECCION DE LABORATORIO REGIONAL EN SALUD PUBLICA

Bigo. PAVEL FLORIAN HUARFUMA MEDINA
DIRECTOR

Ayacucho, 27 de mayo del 2024.

**INFORME DE ENSAYO N° 14050-24005 QU- DL RRSP -DIRESA
LABORATORIO DE QUIMICA PROXIMAL**

I. DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE DEL SOLICITANTE : LIMACO CARPIO, Isai
DIRECCION : Jr. M. Parado de Bellido S/N – San Juan Bautista – Huamanga – Ayacucho.

II. DATOS DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO : AGUA GRIS
IDENTIFICACIÓN : SAN JUAN BAUTISTA–SAN JUAN BAUTISTA–HUAMANGA–AYACUCHO.
HORA DE MUESTREO : Sin identificar
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO : San Juan Bautista; 30.05.24
FECHA DE RECEPCION : 30.05.2024
NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO : SAN JUAN BAUTISTA
FUENTE DE CAPTACION : Domicilio
ENVASE DECLARADO POR EL CLIENTE : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante

III. ANTECEDENTES

CANTIDAD MUESTREADA : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante
MUESTREADO POR : Isai LIMACO CARPIO.
REFERENCIA : Control de Calidad con fines de investigación.

IV. RESULTADOS

Físico Organoléptico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Olor	Inodoro	Característico
Sabor	Característico	Característico
pH (Potenciométrico 19,0°C)	6,20	6,5 – 8,5
Mat. Flotante de origen antropogénico	Ausencia	Ausencia
Sólidos en suspensión (mg/L)	65,00	45 – 350 mg/L
Turbiedad (UNT)	172,25	20 – 1000 UNT

Químico:

ANALISIS	RESULTADOS	ESPECIFICACION
	M-1	
Dureza (mg/L CaCO ₃)	23,1	500 mg/L
Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,69	10,00 mg/L
Nitros (mg/L NO ₂ ⁻)	3,80	100,00 mg/L
Arsénico (mg/L As)	0,00	0,1 mg/L
Fosfatos (mg/L PO ₄ ⁻³)	3,13	0,5 mg/L
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻²)	204,06	1000 mg/L
Hierro (mg/L Fe)	0,89	5,0 mg/L
Aluminio (mg/L Al)	0,19	5,0 mg/L
Fluoruros (mg/L F)	1,02	1,0 mg/L
Cromo Total (mg/L Cr)	1,11	0,1 mg/L
Cobre (mg/L Cu)	0,00	0,2 mg/L
Plomo (mg/L Pb)	2,14	0,05 mg/L
Cadmio (mg/L Cd)	0,18	0,01 mg/L
DBO ₅ (mg/L)	148,55	90 – 290 mg/L

V. METODOS DE ENSAYO

Método: Colorimétrico Spectroquant • Intervalo del Método: 0,02 – 0,5 mg/L As • 0,03 – 15,3 mg/L PO ₄ ⁻³	• 0,005 – 5,00 mg/L Fe • 0,4 – 110,7 mg/L NO ₂ ⁻ • 0,10 – 20,0 mg/L F • 0,007 – 3,28 mg/L NO ₂ ⁻	• 25 – 300 mg/L SO ₄ ⁻² • 0,02 – 50,0 mg/L Al • 0,02 – 6,69 mg/L CrO ₄ ⁻² • 0,02 – 6,00 mg/L Cu
--	---	--

VI. CONCLUSIONES

* De acuerdo a los resultados Físico Organoléptico y Químicos obtenidos y contrastados con los requisitos, se concluye que el producto de la referencia **NO ES CONFORME** con las Especificaciones del D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1 Riego de vegetales.
* Informe emitido en base a resultados obtenidos en nuestro Laboratorio.
* El presente informe se refiere únicamente a la muestra puntual y las cantidades indicadas siempre y cuando se manténgalas mismas condiciones de realizado de muestreo. Válido exclusivamente para los requisitos señalados. No se puede vincularse implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del informe a ninguna otra unidad. No es válido si es fotocopia.
Documento Válido sólo para la muestra descrita en los puntos 1 y 2, por un periodo de 2 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Evaluated por: Jesús López Auris

Ayacucho, 07 de junio del 2024.

**INFORME DE ENSAYO N° 14050-24006 QU- DLRRSP -DIRESA
LABORATORIO DE QUIMICA PROXIMAL**

I. DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE DEL SOLICITANTE : LIMACO CARPIO, Isai
DIRECCION : Jr. M. Parado de Bellido S/N – San Juan Bautista – Huamanga – Ayacucho.

II. DATOS DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO : AGUA GRIS
IDENTIFICACIÓN : SAN JUAN BAUTISTA–SAN JUAN BAUTISTA–HUAMANGA–AYACUCHO.
HORA DE MUESTREO : Sin identificar
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO : San Juan Bautista; 10.06.24
FECHA DE RECEPCION : 10.06.2024
NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO : SAN JUAN BAUTISTA
FUENTE DE CAPTACION : Domicilio
ENVASE DECLARADO POR EL CLIENTE : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante

III. ANTECEDENTES

CANTIDAD MUESTREADA : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante
MUESTREADO POR : Isai LIMACO CARPIO.
REFERENCIA : Control de Calidad con fines de investigación.

IV. RESULTADOS

Físico Organoléptico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Olor	Inodoro	Característico
Sabor	Característico	Característico
pH (Potenciométrico 19,0°C)	6,24	6,5 – 8,5
Mat. Flotante de origen antropogénico	Ausencia	Ausencia
Sólidos en suspensión (mg/L)	116,15	45 – 350 mg/L
Turbiedad (UNT)	311,00	20 – 1000 UNT

Químico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Dureza (mg/L CaCO ₃)	27,50	500 mg/L
Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,70	10,00 mg/L
Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	3,91	100,00 mg/L
Arsénico (mg/L As)	0,00	0,1 mg/L
Fosfatos (mg/L PO ₄ ⁻³)	3,21	0,5 mg/L
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻²)	201,20	1000 mg/L
Hierro (mg/L Fe)	0,91	5,0 mg/L
Aluminio (mg/L Al)	0,22	5,0 mg/L
Fluoruros (mg/L F)	1,07	1,0 mg/L
Cromo Total (mg/L Cr)	1,22	0,1 mg/L
Cobre (mg/L Cu)	0,00	0,2 mg/L
Plomo (mg/L Pb)	2,16	0,05 mg/L
Cadmio (mg/L Cd)	0,21	0,01 mg/L
DBO ₅ (mg/L)	201,73	90 – 290 mg/L

V. METODOS DE ENSAYO

Método: Colorimétrico Spectroquant • Intervalo del Método: 0,02 – 0,5 mg/L As • 0,03 – 15,3 mg/L PO ₄ ⁻³	• 0,005 – 5,00 mg/L Fe • 0,4 – 110,7 mg/L NO ₂ ⁻ • 0,10 – 20,0 mg/L F • 0,007 – 3,28 mg/L NO ₃ ⁻	• 25 – 300 mg/L SO ₄ ⁻² • 0,02 – 50,0 mg/L Al • 0,02 – 6,69 mg/L CrO ₄ • 0,02 – 6,00 mg/L Cu
--	---	--

VI. CONCLUSIONES

* De acuerdo a los resultados Físico Organoléptico y Químicos obtenidos y contrastados con los requisitos, se concluye que el producto de la referencia **NO ES CONFORME** con las Especificaciones del D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1 Riego de vegetales.
* Informe emitido en base a resultados obtenidos en nuestro Laboratorio.
* El presente informe se refiere únicamente a la muestra puntual y las cantidades indicadas siempre y cuando se manténgalas mismas condiciones de realizado de muestreo. Válido exclusivamente para los requisitos señalados. No se puede vincularse implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del informe a ninguna otra unidad. No es válido si es fotocopia.
Documento Válido sólo para la muestra descrita en los puntos 1 y 2, por un periodo de 2 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Evaluated por: Jesús López Auris

Ayacucho, 21 de junio del 2024.



 GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
 DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
 DIRECCION DE LABORATORIOS REGIONAL EN SALUD PUBLICA
 Sr. PAVEL FLORIAN HUARIPUMA MEDINA
 DIRECTOR

**INFORME DE ENSAYO N° 14060-24007 QU- DLRRSP- DIRESA
LABORATORIO DE QUIMICA PROXIMAL**

I. DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE DEL SOLICITANTE : LIMACO CARPIO, Isai
DIRECCION : Jr. M. Parado de Bellido S/N – San Juan Bautista – Huamanga – Ayacucho.

II. DATOS DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO : AGUA GRIS
IDENTIFICACIÓN : SAN JUAN BAUTISTA–SAN JUAN BAUTISTA–HUAMANGA–AYACUCHO.
HORA DE MUESTREO : Sin identificar
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO : San Juan Bautista; 20.06.24
FECHA DE RECEPCION : 20.06.2024
NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO : SAN JUAN BAUTISTA
FUENTE DE CAPTACION : Domicilio
ENVASE DECLARADO POR EL CLIENTE : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante

III. ANTECEDENTES

CANTIDAD MUESTREADA : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante
MUESTREADO POR : Isai LIMACO CARPIO.
REFERENCIA : Control de Calidad con fines de investigación.

IV. RESULTADOS

Físico Organoléptico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Olor	Inodoro	Característico
Sabor	Característico	Característico
pH (Potenciométrico 19,0°C)	6,75	6,5 – 8,5
Mat. Flotante de origen antropogénico	Ausencia	Ausencia
Sólidos en suspensión (mg/L)	212,45	45 – 350 mg/L
Turbiedad (UNT)	401,53	20 – 1000 UNT

Químico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Dureza (mg/L CaCO ₃)	28,3	500 mg/L
Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,71	10,00 mg/L
Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	4,10	100,00 mg/L
Arsénico (mg/L As)	0,00	0,1 mg/L
Fosfatos (mg/L PO ₄ ⁻³)	3,66	0,5 mg/L
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻²)	211,62	1000 mg/L
Hierro (mg/L Fe)	1,00	5,0 mg/L
Aluminio (mg/L Al)	0,23	5,0 mg/L
Fluoruros (mg/L F)	1,12	1,0 mg/L
Cromo Total (mg/L Cr)	1,28	0,1 mg/L
Cobre (mg/L Cu)	0,00	0,2 mg/L
Plomo (mg/L Pb)	2,21	0,05 mg/L
Cadmio (mg/L Cd)	0,22	0,01 mg/L
DBO ₅ (mg/L)	210,79	90 – 290 mg/L

V. METODOS DE ENSAYO

Método: Colorimétrico Spectroquant • Intervalo del Método: 0,02 – 0,5 mg/L As • 0,03 – 15,3 mg/L PO ₄ ⁻³	• 0,005 – 5,00 mg/L Fe • 0,4 – 110,7 mg/L NO ₂ ⁻ • 0,10 – 20,0 mg/L F • 0,007 – 3,28 mg/L NO ₃ ⁻	• 25 – 300 mg/L SO ₄ ⁻² • 0,02 – 50,0 mg/L Al • 0,02 – 6,69 mg/L CrO ₄ • 0,02 – 6,00 mg/L Cu
--	---	--

VI. CONCLUSIONES

* De acuerdo a los resultados Físico Organoléptico y Químicos obtenidos y contrastados con los requisitos, se concluye que el producto de la referencia **NO ES CONFORME** con las Especificaciones del D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1 Riego de vegetales.
* Informe emitido en base a resultados obtenidos en nuestro Laboratorio.
* El presente informe se refiere únicamente a la muestra puntual y las cantidades indicadas siempre y cuando se manténgalas mismas condiciones de realizado de muestreo. Válido exclusivamente para los requisitos señalados. No se puede vincularse implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del informe a ninguna otra unidad. No es válido si es fotocopia.
Documento Válido sólo para la muestra descrita en los puntos 1 y 2, por un periodo de 2 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Evaluated por: Jesús López Auris

Ayacucho, 28 de junio del 2024.

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
 DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
 DIRECCION DE LABORATORIO REGIONAL EN SALUD PUBLICA
 Dr. PAVEL FLORIAN HUARTUMA MEDINA
 DIRECTOR

**INFORME DE ENSAYO N° 14050-24008 QU- DLRRSP -DIRESA
LABORATORIO DE QUIMICA PROXIMAL**

I. DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE DEL SOLICITANTE : LIMACO CARPIO, Isai
DIRECCION : Jr. M. Parado de Bellido S/N – San Juan Bautista – Huamanga – Ayacucho.

II. DATOS DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO : AGUA GRIS
IDENTIFICACIÓN : SAN JUAN BAUTISTA–SAN JUAN BAUTISTA–HUAMANGA–AYACUCHO.
HORA DE MUESTREO : Sin identificar
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO : San Juan Bautista; 01.07.24
FECHA DE RECEPCION : 01.07.2024
NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO : SAN JUAN BAUTISTA
FUENTE DE CAPTACION : Domicilio
ENVASE DECLARADO POR EL CLIENTE : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante

III. ANTECEDENTES

CANTIDAD MUESTREADA : 01 Botella de PTFE opaco, 2do uso x 1000 mL, refrigerado, sin preservante
MUESTREADO POR : Isai LIMACO CARPIO.
REFERENCIA : Control de Calidad con fines de investigación.

IV. RESULTADOS

Físico Organoléptico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Olor	Inodoro	Característico
Sabor	Característico	Característico
pH (Potenciométrico 19,0°C)	6,55	6,5 – 8,5
Mat. Flotante de origen antropogénico	Ausencia	Ausencia
Sólidos en suspensión (mg/L)	220,03	45 – 350 mg/L
Turbiedad (UNT)	407,06	20 – 1000 UNT

Químico:

ANALISIS	RESULTADOS M-1	ESPECIFICACION
Dureza (mg/L CaCO ₃)	29,5	500 mg/L
Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	0,74	10,00 mg/L
Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	4,23	100,00 mg/L
Arsénico (mg/L As)	0,00	0,1 mg/L
Fosfatos (mg/L PO ₄ ⁻³)	4,20	0,5 mg/L
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻²)	257,95	1000 mg/L
Hierro (mg/L Fe)	1,02	5,0 mg/L
Aluminio (mg/L Al)	0,23	5,0 mg/L
Fluoruros (mg/L F)	1,54	1,0 mg/L
Cromo Total (mg/L Cr)	1,27	0,1 mg/L
Cobre (mg/L Cu)	0,00	0,2 mg/L
Plomo (mg/L Pb)	2,31	0,05 mg/L
Cadmio (mg/L Cd)	0,24	0,01 mg/L
DBO ₅ (mg/L)	213,02	90 – 290 mg/L

V. METODOS DE ENSAYO

Método: Colorimétrico Spectroquant • Intervalo del Método: 0,02 – 0,5 mg/L As • 0,03 – 15,3 mg/L PO ₄ ⁻³	• 0,005 – 5,00 mg/L Fe • 0,4 – 110,7 mg/L NO ₂ ⁻ • 0,10 – 20,0 mg/L F • 0,007 – 3,28 mg/L NO ₃ ⁻	• 25 – 300 mg/L SO ₄ ⁻² • 0,02 – 50,0 mg/L Al • 0,02 – 6,69 mg/L CrO ₄ • 0,02 – 6,00 mg/L Cu
--	---	--

VI. CONCLUSIONES

* De acuerdo a los resultados Físico Organoléptico y Químicos obtenidos y contrastados con los requisitos, se concluye que el producto de la referencia **NO ES CONFORME** con las Especificaciones del D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1 Riego de vegetales.

* Informe emitido en base a resultados obtenidos en nuestro Laboratorio.

* El presente informe se refiere únicamente a la muestra puntual y las cantidades indicadas siempre y cuando se manténgalas mismas condiciones de realizado de muestreo. Válido exclusivamente para los requisitos señalados. No se puede vincularse implícita o explícitamente a otras características que no se indican para la muestra del producto objeto de análisis no pudiendo extenderse las conclusiones del informe a ninguna otra unidad. No es válido si es fotocopia.

Documento Válido sólo para la muestra descrita en los puntos 1 y 2; por un periodo de 2 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

Evaluated por: Jesús López Auris

Ayacucho, 12 de julio del 2024.

GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
DIRECCION REGIONAL DE SALUD AYACUCHO
MUESTRAS DE LABORATORIO REGIONAL EN SALUD PUBLICA

Dra. FAVEL FLORES GUARIPUMA MEDINA
DIRECTOR

**Evaluación del uso del agua gris y pluvial en la
sostenibilidad del agua potable de la ciudad de Ayacucho**

**Evaluation the use of graywater and rainwater in the
sustainability of drinking water in the city of Ayacucho**

ISAI LIMACO CARPIO

Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de
Huamanga

Isai.limaco@unsch.edu.pe

RESUMEN

El objetivo de la investigación es la evaluación el uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho, el estudio es de tipo aplicada y de nivel descriptiva, con diseño no experimental, realizado en una edificación que cuenta con un sistema de captación independiente y tratamiento de 550 L de agua gris en un sedimentador + prefiltro + filtro lento de arena y un área de 25 m² de techo de captación pluvial, conectada a un tanque de almacenamiento de 1100 litros que distribuye a los sanitarios de la edificación. Inicialmente el agua gris tuvo una turbiedad de 482 NTU, sólidos suspendidos totales de 299,95 mg/L y pH de 5,56, luego del proceso de filtración la turbiedad disminuyó hasta 166,38 NTU y los sólidos suspendidos hasta 58,38 mg/L con un pH de 6,68. También se determinó que el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en la sostenibilidad de agua potable con un volumen de 15 m³ no consumida de la red pública, promoviendo nuevas instalaciones en la zona de déficit hídrica y fomentando la disminución en el impacto ambiental por la reutilización del agua gris.

Palabras clave: uso del agua gris y pluvial, sostenibilidad del agua.

RESUMEN

The objective of this research is to evaluate the use of grey and rainwater in the sustainability of drinking water in the city of Ayacucho. The study is applied and descriptive in nature, with a non-experimental design, conducted in a building that has an independent greywater collection and treatment system. The system collects 550 L of greywater using a sedimentation tank, pre-filter, and slow sand filter, and includes a 25 m² roof rainwater collection area connected to an 1100 liter storage tank that distributes water to the building's restrooms. Initially, the greywater had a turbidity of 482 NTU, total suspended solids of 299.95 mg/L, and a pH of 5.56. After the filtration process, the turbidity decreased to 166.38 NTU and the suspended solids to 58.38 mg/L with a pH of 6.68. It was also determined that the use of grey and rainwater influences the sustainability of drinking water with a volume of 15 m³ not consumed from the public network, promoting new facilities in the water-deficit area and encouraging a reduction in environmental impact through the reuse of grey water.

Keywords: use of gray and rainwater, water sustainability.

I. Introducción

Según el Banco Mundial, para el año 2050 alrededor del 36 % de la población mundial vivirá en zonas de escasez hídrica, porque de toda el agua que se encuentra en la tierra, solo el 2,5 % de agua que está en los nevados, lagunas, ríos, entre otros es para el consumo humano (Banco Mundial, 2020). En el plan regional de saneamiento 2018 – 2021, describe que en el ámbito urbano el 18,79 % no tiene acceso al agua potable en las zonas que están sobre el nivel de la planta de tratamiento de agua potable de Quicapata del servicio de Agua potable y alcantarillado de Ayacucho S.A. SEDA, cabe señalar que las localidades de Huaschahura, Mollepata y anexos cuentan con el servicio de agua potable derivada de la planta de tratamiento de agua potable de Cabrapata (GORE, 2018).

Esta investigación se lleva a cabo, porque el agua apta par el consumo humano está disminuyendo por el cambio climático, por la contaminación del agua, uso del agua en la agricultura intensiva y la mala disposición del agua potable en otras actividades. También, porque el agua proveniente de la precipitación pluvial no esta siendo aprovechado y el agua gris proveniente de las duchas y lavado de manos se pueden utilizar luego de un previo tratamiento, para cubrir la demanda de agua por el equipo sanitario, riego de jardines y otros usos. El desarrollo de la investigación esta basado en cubrir la demanda de agua potable, con el uso del agua pluvial y gris previamente tratada mediante sistema de filtración.

Herrero (2015), menciona que la gestión sostenible del agua implica cubrir las demandas de agua fomentando el ahorro y protegiendo las aguas subterráneas y superficiales con la calidad adecuada para garantizar el suministro. Para lograr la sostenibilidad del agua se debe de planificar y aprovechar las aguas provenientes de la precipitación pluvial y reusar las aguas residuales con previo tratamiento.

Allen (2015) define que el agua gris son aguas que tuvieron un uso ligero en las lavadoras, duchas, lavado de manos y cara, tinas de baño y jacuzzi. En la tabla 1 se tiene el promedio de las características del agua gris, y para la estructuración del sistema de filtración se tomará en cuenta el valor de la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbidez (197 NTU).

Tabla 1

Recopilación de características del agua gris de los diferentes países

Parametros	España ^a	Grecia ^b	Chile ^c	Jordania	Prom.
Sólido Suspendido (mg/l)	45 - 330	46,3 - 233	70 - 119	23 - 358	260
Turbiedad (NTU)	22 - 200		57,7 - 193		197
Col.total(UFC/100 mL)	10 - 106		1,3 - 104	1 - 107	106
Conductividad(uS/cm)	10,0			1,57 - 18,3	14,2
DQO (mg/L)		286 - 1199	457 - 719	92 - 2568	1419
DBO ₅ (mg/L)	90 - 290	199 - 862	194 - 384	110 - 1056	691
pH	7 - 8	7,2 - 10,2		6,9 - 7,8	8

Nota. ^a No considera aguas provenientes de cocinas y lavado. ^b Considera los valores mínimos y máximos de 4 tipos de aguas grises de 3 tipos de horages. ^c Análisis de dos muestras de aguas grises en hogares de Calama y Valenar (Díaz et al., 2021, p. 03).

Para el tratamiento del agua gris, se diseña el sistema de filtración de sedimentador (S) más prefiltro de grava (PG) y filtro lento de arena (FLA), en función de la turbiedad del agua (T_o) en unidades nefelométricas de turbiedad (197 UNT) como se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2

Criterio de selección del sistema de filtración

Alternativas	Límites de calidad del agua cruda aceptables		
	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtro lento de arena (FLA)	$T_o \leq 50$ UNT	$T_o \leq 20$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 100$ UNT
FLA+ prefiltro de grava (PG)	$T_o \leq 100$ UNT	$T_o \leq 60$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 150$ UNT
FLA+PG+ sedimentador (S)	$T_o \leq 300$ UNT	$T_o \leq 200$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 500$ UNT
FLA+PG+S+ presedimentador	$T_o \leq 500$ UNT	$T_o \leq 200$ UNT	$T_o \text{ max. } \leq 1000$ UNT

Nota. Elección del sistema de filtración del agua gris (Solsona & Méndez, 2002).

En la tabla 3 se observa la velocidad de filtración del agua gris, cuyo valor deberá ser de $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hora} = 0,3 \text{ m/h}$, para el tratamiento, en el sedimentador (S), prefiltro de grava (PG) y filtro lento de arena (FLA).

Tabla 3

Velocidad de filtración en función de etapas

Etapas	Procesos	Velocidad de filtración (m/h)
Una etapa	Filtración lenta de arena (FLA)	0,10 – 0,20
Dos etapas	Sedimentación (S) + FLA	0,15 – 0,30
Dos etapas	Pre filtración (PF) + FLA	0,15 – 0,30
Tres etapas	(S) + (PF) + FLA	0,30 – 0,50

Nota. Elección de la velocidad de filtración $0,3 \text{ m/h}$ del agua gris en las tres etapas de sedimentación, prefiltro y filtración lenta de arena (Solsona & Méndez, 2002).

II. Metodología

Tipo de investigación es aplicada y el nivel es descriptiva, porque dio a conocer las características del agua gris antes y después de su tratamiento, también la investigación es de un diseño no experimental, y la clase es Longitudinal en un edificio multifamiliar con instalaciones sanitarias de cuatro pisos de la ciudad de Ayacucho, dirección Av. Cusco 1305, ubicada en el

distrito de San Juan Bautista, provincia de Huamanga del departamento de Ayacucho.

La toma de muestra fue de aleatoria simple, el muestreo del agua gris se realizó de la mezcla de agua proveniente de la ducha, lavado de manos, lavado de prendas de vestir y la máquina lavadora de prendas, donde la mezcla total fue recolectada en un tanque de 300 litros durante 24 horas, proveniente de los cuatro pisos de una edificación. La toma de muestra se hizo en una botella de polietileno de 1000 mL refrigerado y sin preservantes, llevado de inmediato al laboratorio de análisis físico químico.

Luego de obtener la información de las características del agua gris, se realizó el procesamiento de datos con los programas computacionales de hojas de cálculo y dibujo técnico para la estructuración de las dimensiones del sistema de filtración del agua gris, captación pluvial y distribución del agua en los sanitarios de la edificación.

III. Resultados y discusiones

Resultados

En la tabla 4 se observa, que en un día se requiere 520 L de agua gris filtrada para usar en un sanitario por piso de una edificación de 4 niveles, este volumen es suficiente, ya que el volumen de demanda es menor que el volumen disponible de agua gris ($520 \text{ L} < 1266 \text{ L}$) de las duchas y lavado de manos y en ocasiones del uso de la lavadora de los tres pisos de la edificación.

Tabla 4

Consumo promedio aproximado por familia por piso del edificio

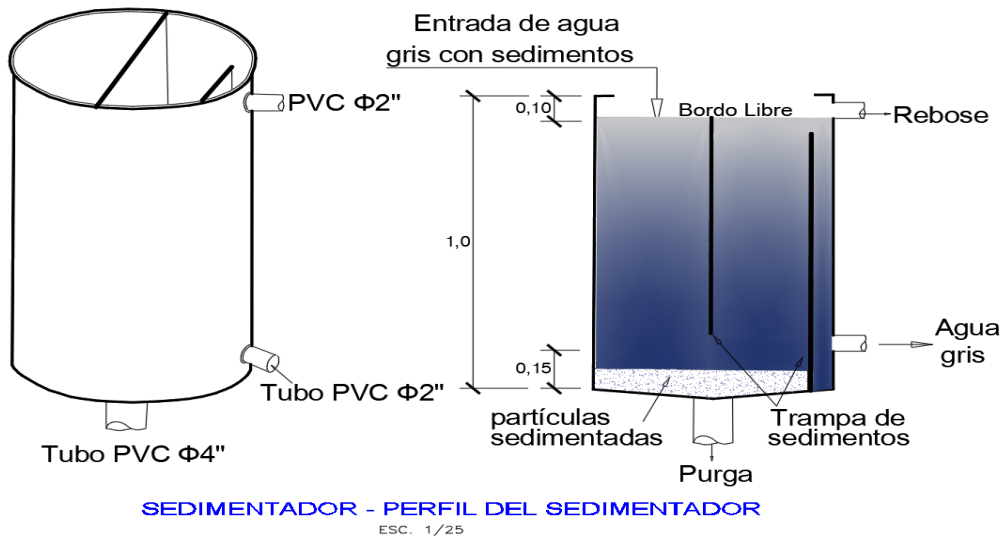
Punto de uso	Litros / persona. día	Familia de 4 personas /piso	Familia con 1 baño (L/día)	Caudal por 1 piso	Caudal por 3 pisos
Ducha	95	4	380	380	
Lavamanos	10,5	4	42	42	
Caudal disponible de agua gris			$Q_{\text{Disponible}} =$	422 L/d	1266 L/d
Inodoro	32,5	4	130	130	por 4 pisos
Caudal de demanda de agua gris filtrada			$Q_{\text{Demanda}} =$	130 L/d	520 L/d

Nota. Caudal disponible y de demanda del agua gris por día en una edificación.

Para evitar la falta de agua en los sanitarios, se deberá someter un caudal de 550 L por día ($0,55 \text{ m}^3/\text{d}$) de agua gris al sistema de filtración a una velocidad de 0,20 a 0,30 m/h. En la figura 1 se muestra el plano del sedimentador (S) provista de tubería (PVC de $\Phi 4''$) de purga de sedimentos, tubería (PVC de $\Phi 2''$) de rebose de excesos y tubería de paso de agua gris.

Figura 1

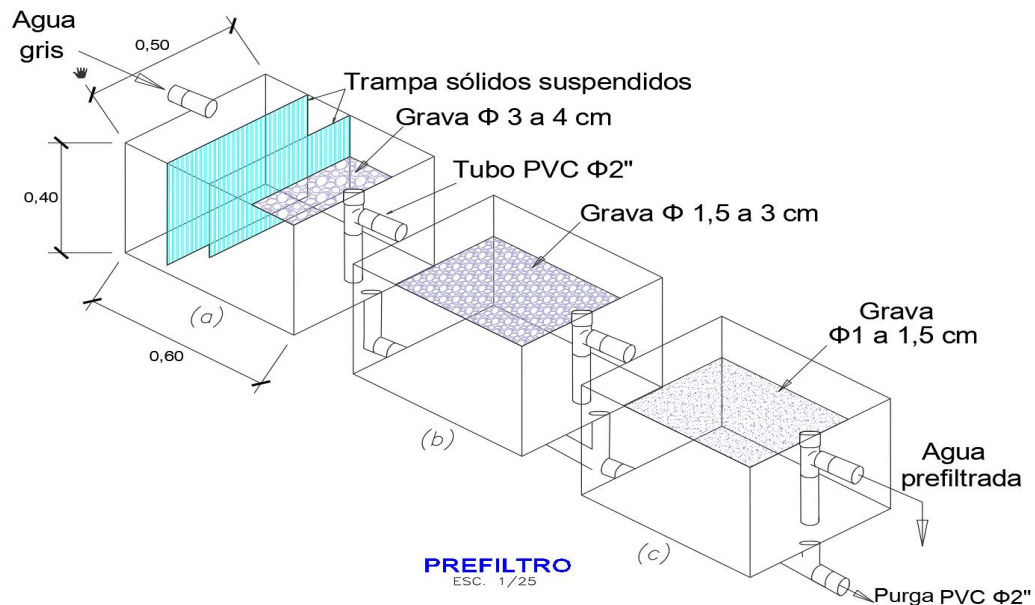
Plano del sedimentador del agua gris



Nota. Sedimentador (S) con trampa, tubería de purga, tubería de rebose y paso de agua gris

Figura 2

Perfil de las cámaras del prefiltro de grava (PG)



Nota. Prefiltro (a) con trampa de sólidos suspendidos y grava , (b) y (c) con grava

En la figura 2 se muestra el plano del prefiltro de grava (PG) constituida por la cámara (a) con dos pantallas de trampa de sólidos suspendidos separados a 0,15 m, con un lecho de grava de diámetro 3 – 4 cm, seguida por la cámara (b) con lecho de grava de diámetro 1,5 – 3 cm y la cámara (c) con lecho de grava de 1,0 – 1,5 cm, que funciona a la velocidad mínima de 0,20 m/h. Este prefiltro de grava cumple la función de remover parte de los sólidos suspendidos que no fueron sedimentadas en el proceso anterior, también retiene las partículas en su lecho antes del filtro lento de arena.

En la tabla 5 se observa los diseños del filtro de diferentes medidas de los investigadores de Cadena- Carcelén, Chávez- Rojas y del Ministerio de Vivienda, para elegir el tamaño y la configuración del lecho de nuestro filtro, se toma el promedio del tamaño de la partícula filtrante y la altura del lecho, que resulta ser de las siguientes medidas de 0,20 m de grava (3 - 10 mm), 0,20 m de arena gruesa (4 – 5 mm) y 0,40 m de arena fina (0,25 – 1,5 mm) libre de arcilla y materia orgánica.

Tabla 5

Promedio de tamaño de la partícula filtrante y altura del lecho

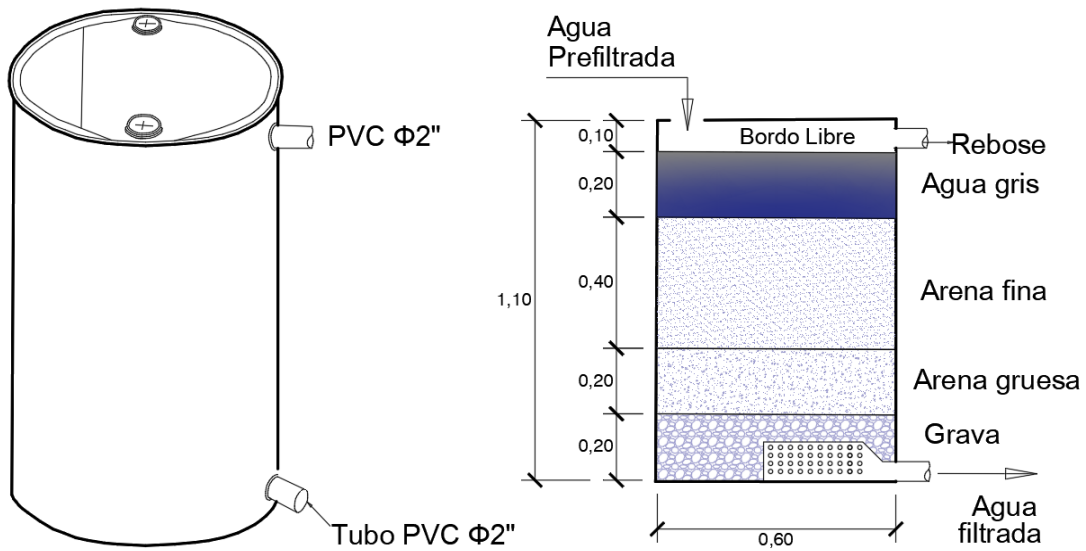
Criterios de configuración filtro lento	Cadena- Carcelén (2021)		Chávez- Rojas (2020)		Ministerio Vivienda (2018)		Lecho (promedio)	
	Tamaño (mm)	Altura (m)	Tamaño (mm)	Altura (m)	Tamaño (mm)	Altura (m)	Tamaño (mm)	Altura (m)
Bordo libre								0,10
Altura agua				0,20				0,20
Arena fina	0,25	0,10	0,25	0,25	1,5	0,80	0,25 – 1,5	0,40
Arena gruesa	0,50	0,20	0,50	0,15	4,0	0,50	0,5 – 4,0	0,20
Lecho grava	3,00	0,20	3,50	0,20	10,0	0,20	3,0 – 10,0	0,20

Nota. Promedio del tamaño de partícula y altura de lecho del filtro.

En la figura 3 se observa el plano el filtro lento de arena (FLA) de base circular de 0,6 m de diámetro y altura de 1,10 m, con los materiales de espesor de 0,20 m de grava, 0,20 m de arena gruesa y 0,40 m de arena fina con un almacenamiento de 0,20 m de agua no tratada y 0,10 de bordo libre y tubería de rebose para el desfogue de excesos del agua gris durante el tratamiento, este filtro purifica por completo el agua gris, para luego ser usada.

Figura 3

Dimensiones de filtro lento de arena (FLA)



FILTRO - PERFIL DEL FILTRO

ESC. 1/25

Nota. Filtro lento con el material y sus respectivos espesores en metros.

En la edificación de 4 pisos, se capta el agua gris de las duchas y lavamanos del segundo, tercero y cuarto piso, por una tubería de 2" hasta el tanque de 600 L ubicada en el primer piso, el agua gris almacenada en el tanque es bombeada por una tubería $\Phi \frac{3}{4}$ " hasta el (S) + (PG) + (FLA) instalada en la azotea para su tratamiento. Desde el mes de mayo hasta setiembre, el sistema de filtración del agua gris cubrirá la demanda de agua, pero desde el mes de octubre hasta abril, el sistema de captación pluvial entrará en operación para disponer de agua en los sanitarios, el sistema de captación pluvial debe tener una superficie mínima de 25 m² y un interceptor de primeras lluvias (taloquito), tanto el agua filtrada y pluvial se almacenará en tanque elevado de 1100 L (más detalles del sistema en las figuras 4 y 5)

El costo de instalación del sistema de captación del agua pluvial, incluida los materiales, accesorios y mano de obra asciende hasta 2003,0 soles y el costo de instalación del sistema de tratamiento del agua gris asciende hasta 5245,0 soles que incluye equipos, materiales, accesorios y mano de obra de la instalación del tratamiento y disposición del agua filtrada en los sanitarios.

Figura 4

Plano de captación de agua gris y distribución de agua filtrada

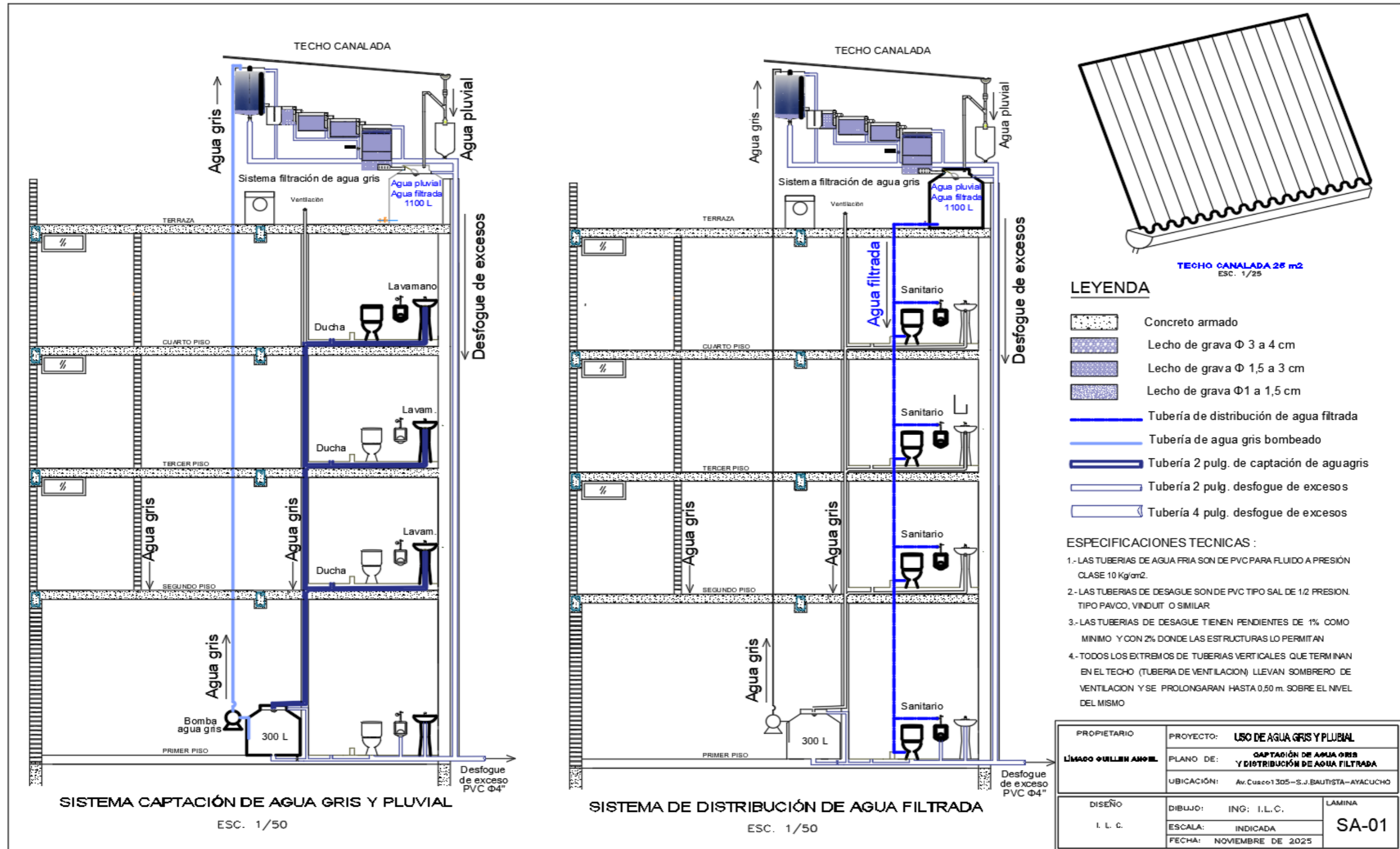
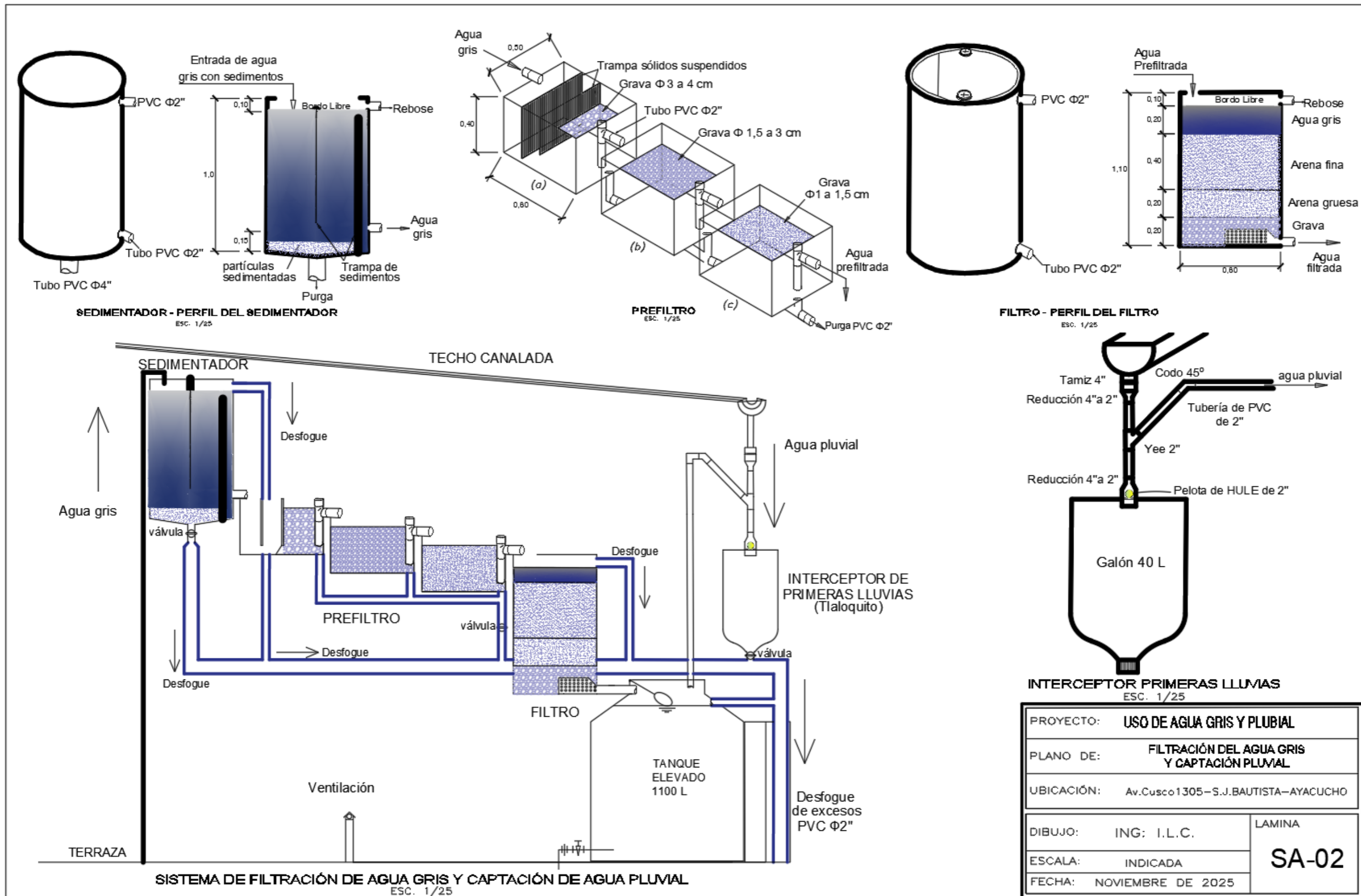


Figura 5

Detalles del sistema de filtración del agua gris y captación pluvial



Discusiones

En la tabla 6 se muestra los resultados del análisis de las características del agua gris, también se observa la norma peruana de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y los parámetros internacionales recopilada de los diferentes países donde se usa el agua gris tratada.

Tabla 6

Resultados de análisis del agua gris de la ciudad de Ayacucho

ANÁLISIS	Resultados	Especificaciones ECA (Categoría 3)	Parámetros internacionales
Turbiedad (UNT)	482,00	20 – 1000	≤ 5
Sólidos suspendidos (mg/L)	299,95	45 – 350	≤ 10
DBO ₅ (mg/L)	224,11	90 – 290	≤10
pH (Potenciométrico 21,5°C)	5,65	6,5 – 8,5	5,5 – 9,5

Nota. Análisis del agua gris recolectada en una edificación de la ciudad de Ayacucho.

En esta investigación de determinar las características físico y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho, se pudo encontrar que el agua potable con turbiedad de 1,96 NTU se incrementó hasta 482,0 NTU con sólidos suspendidos de 299,95 mg/L en el agua gris, estos parámetros de calidad superan el parámetro internacional de 5 UNT y 10 mg/L respectivamente y el DBO₅ de 224,11 mg/L supera el valor de 10 mg/L. Mientras que el pH de 6,99 del agua potable, luego de uso aumentó su acidez hasta 5,65. Esto nos da entender que el agua gris se acidificó y la calidad no tiene conformidad con los parámetros internacionales, como la turbiedad, sólidos suspendidos y DBO₅, también el potencial de hidrógeno (pH = 5,56) está fuera del rango de 6,5 a 8,5, del parámetro de la categoría 3 de la norma de Estándar de Calidad Ambiental, por lo tanto, por el principio de inocuidad, el agua gris no es conforme para usar.

Luego de someter el agua gris al sistema de filtración, se extrajo muestras de un litro de agua filtrado en el periodo de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días. En la tabla 7 se muestra los resultados de las características del agua filtrada.

Tabla 7*Periodo de filtración del agua y parámetros analizados para el volumen acumulado*

Parámetros analizados por día (1)	Volumen acumulado (m ³) (2)	pH unidad (3)	Sólido suspendido total (mg/L) (4)	Turbiedad (NTU) (5)	DBO ₅ (mg/L) (6)	% Remoción SST (7)	% Remoción turbiedad (8)
Agua gris (no filtrada)		5,56	299,95	482	224,11		
Agua filtrada (día 10)	5,5	6,86	100,53	246,30	180,56	66,48	48,90
Agua filtrada (día 20)	11,0	6,80	58,38	166,38	145,60	80,54	65,48
Agua filtrada (día 30)	16,5	6,20	65,00	172,25	148,55	78,33	64,26
Agua filtrada (día 40)	22,0	6,24	116,15	311,00	201,73	61,28	35,48
Agua filtrada (día 50)	27,5	6,75	212,45	401,53	210,79	29,17	16,69
Agua filtrada (día 60)	33,0	6,55	220,03	407,06	213,02	26,64	15,55

Nota. El volumen acumulado en el transcurso de los días de operación del filtro.

En la columna (1) y (2) de la tabla 7 se tiene el periodo de operación de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días con el volumen acumulado de 5,5, 11, 16,5, 22, 27,5 y 33 m³ respectivamente, de cada volumen se tomó la muestra para su análisis físico y químico del agua filtrada. También en la columna (3) se observa el comportamiento del pH, que inicia con 5,56 y luego del proceso de filtración, el agua disminuye su acidez hasta un pH de 6,86 y con un ligero incremento de acidez hasta el pH de 6,20 en el día 30. En la columna (4) se muestra que los sólidos suspendidos totales de 299,95 mg/L, la concentración de SST disminuye hasta 58,38 mg/L y 65 m/L, con una remoción en promedio de 80,54 % y 78,33 % de sólidos suspendidos presentes en el agua gris en el periodo de 20 y 30 días. A partir del día 40 hacia adelante el porcentaje de remoción disminuye hasta 26,64 %. En la columna (5) se observa que la turbiedad de 482 NTU del agua gris disminuyó hasta 166,38 NTU y 172,25 NTU en el sistema de filtración, con una remoción promedio de 65,5 % y 64,26 % de la turbiedad del agua gris en el periodo de 20 y 30 días. Del día 40 hacia adelante la capacidad del filtro se ve comprometida, con la reducción del porcentaje remoción de la turbiedad hasta 15,55 %.

Con el objetivo de determinar las características físicas y químicas del agua filtrada para disponer de agua en los sanitarios en la ciudad de Ayacucho, se encontró que los resultados de mayor eficiencia de sólidos suspendidos totales fueron de 58,38 mg/L y la turbiedad de 166,38 NTU, asimismo, el pH fue de 6,86 y el DBO₅ de 145,60 mg/L. Obteniendo como resultados de remoción máxima de sólidos suspendidos totales de 80,54 % y la turbiedad de 65,48 %.

Estos resultados son respaldados por Azabache et al. (2020) que sometieron a filtración de 0,75 m³/ día de agua gris, obteniendo la reducción en 52,68 % de los sólidos totales disueltos (721 mg/L hasta 412 mg/L) y en 65,50 % de DBO₅ (112 mg/L hasta 30 mg/L). En este estudio realizado al someter el agua gris al sistema de filtración, se obtuvieron los resultados de sólidos suspendidos totales de 58,38 mg/L y la turbiedad de 166,38 NTU como máximo, estos valores supera los parámetros internacionales, que indican que el SST debe ser menor o igual de 5 mg/L y la turbiedad menor o igual de 10 NTU, como se indicadas en la tabla 6.

Con el objetivo de determinar la influencia del aprovechamiento del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable en la ciudad de Ayacucho, se pudo encontrar que el costo de instalación del tratamiento del agua gris asciende hasta 5245,0 soles y de captación del agua pluvial asciende hasta 2003,0 soles. El costo total del sistema de aprovechamiento del agua gris y pluvial es de 7248,0 soles, que incide directamente en el costo de construcción de toda la edificación, este monto invertido se podrá recuperar en 24 años, que mensualmente se podrá aproximadamente ahorrar el monto de 25 soles por 15 m³ de agua no consumida de la red pública, este ahorro de 15 m³ de agua podrá favorecer a una nueva instalación de una familia de la zona de déficit hídrica, también los 15 m³ de agua gris sometida al tratamiento disminuirá la cantidad de agua contaminada a red de alcantarillado, aliviando la cantidad de tratamiento de agua en la planta de tratamiento de agua servidas y disminuyendo el impacto en el medio ambiente. Lo mencionado es respaldado por Romero (2019), que luego de reutilizar el agua gris, obtuvo un aumento número de beneficiarios del agua potable a 8166 nuevas familias.

CONCLUSIONES

Se evaluó el uso del agua gris en una edificación de cuatro pisos, se determinó el caudal disponible de agua gris de 1266 litros por día, de este volumen se sometió 550 L al sistema de filtración para cubrir la demanda de 520 L de agua tratada por el sanitario cada piso. También se evaluó la captación del agua pluvial en un área de 25 m² para luego almacenarla en un tanque de 1100 litros.

a) Se determinó las características físicas y químicas del agua gris en la ciudad de Ayacucho, estos parámetros de turbiedad de 482 NTU, sólidos suspendidos totales de 299,95 mg/L, DBO₅ de 224,11 mg/L y el pH de 5,56, las características determinadas no tienen conformidad con los parámetros internacionales de turbiedad ≤ 5 NTU, SST ≤ 10 mg/L y DBO₅ ≤ 10 mg/L y la norma peruana de Estándar de Calidad Ambiental (pH de 6,5 – 8,5).

b) Se diseñó el sistema de filtración constituida por el sedimentador (S), prefiltro de grava (PG) y un filtro lento de arena (FLA) para tratar el agua gris y almacenarla en un tanque de 1100 L, que también será alimentada por el agua pluvial captada en el techo de 25 m² en periodos de precipitación pluvial.

c) Se determinó las características físicas y químicas del agua filtrada para disponer de agua en los sanitarios, los parámetros óptimos fueron; pH de 6,68, turbiedad de 166,38 NTU, SST de 58,38 mg/L y DBO₅ de 145,60 mg/L, con una remoción máxima de turbiedad de 65,48 % y SST de 80,54 % durante la operación del sistema de filtración en el periodo de 60 días.

d) Se determinó que el aprovechamiento del agua gris y pluvial influye en la sostenibilidad de agua potable, para ello se tendrá que invertir 7248,0 soles en la instalación del sistema de uso de agua gris y pluvial, con un periodo de recuperación de 24 años, que consiste en el ahorro mensual aproximado de 25 soles por 15 m³ de agua no consumida de la red pública de la ciudad de Ayacucho. Este volumen de 15 m³ de agua ahorrada por mes se podrá disponer en una nueva instalación para las familias de la zona de déficit hídrica para superar la desigualdad social, también el aprovechamiento de agua gris, fomenta la disminución en el impacto ambiental al recurso hídrico en el tratamiento de aguas servidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises . version 2*, <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>.
- Azabache, Y., Rojas, K., Irigoín, S., Rodriguez, R., & Quispe, B. (2020). *Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en las viviendas familiares*. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/163/299>.
- Banco Mundial. (2020). *Agua residual de residuo a reuso. Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*, <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative#documentos>.
- Cadena, S. A., & Carcelén, S. E. (2021). *Diseño de un sistema de reutilización de aguas grises para la descargas de olores y riego de jardín*. (Tesis Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22107/1/CD%2011602.pdf>.
- Chavez, E. A., & Mayhua, C. J. (23 de 09 de 2019). *Diseño de un sistema de reutilización de agua grises y aprovechamiento de aguas pluviales para un proyecto urbanístico de 12 hectarias ubicado en el distrito de Pimentel-Chiclayo-Lambayeque*. (tesis pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Perú: https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6033/chavez_aea-mayhua_bcj.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- GORE. (2018). *Plan Regional de Saneamiento en Ayacucho 2018- 2021*. <http://direccionsaneamiento.vivienda.gob.pe/Planes%20Regionales%20de%20Saneami>.
- Herrero, R. (2015). *Un mundo más sostenible*. (blog), <https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/hacer-uso-sostenible-agua-utopia-o-realidad>.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2018). *Norma Técnica de diseño de opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*. Perú: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1743222/ANEXO%20RM%20192-2018-VIVIENDA%20B.pdf.pdf>.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Colombia: escuela de Colombia de ingeniería, tercera edición.



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0139-2025-UNSCH-EPG/OGH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución De Consejo Directivo N°109-2024-UNSCH-EPG/CD, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

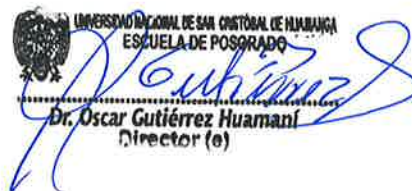
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. Isai LIMACO CARPIO
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS	Evaluación del uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable de la ciudad de Ayacucho
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	12% de similitud
N° DE TRABAJO	2816935619
FECHA	16 de noviembre de 2025

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

16 de noviembre de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Oscar Gutiérrez Huamani
Director (e)

Evaluación del uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable de la ciudad de Ayacucho

por Isai LIMACO CARPIO

Fecha de entrega: 16-nov-2025 05:05p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2816935619

Nombre del archivo: TESIS_-_Isai_Limaco_Carpio.pdf (6.25M)

Total de palabras: 21755

Total de caracteres: 111797

Evaluación del uso del agua gris y pluvial en la sostenibilidad del agua potable de la ciudad de Ayacucho

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	11%	6%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	Andrade, Dario Javier Bermudez. "Eficiencia Hidrica en Edificios no Residenciales de Tipo Colectivos (Hoteles)", Instituto Politecnico de Leiria (Portugal), 2021 Publicación	1%
7	core.ac.uk Fuente de Internet	1%
8	www.iagua.es Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1%

11	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
13	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Quintanilla, William David Borja. "Estudio de Eficiencia Hídrica para un Edificio Residencial en la Ciudad de Quito - Ecuador", Instituto Politecnico de Leiria (Portugal), 2024 Publicación	<1 %
20	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	ruja.ujaen.es Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	scioteca.caf.com Fuente de Internet	<1 %

24

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

25

repositorio.uchile.cl

Fuente de Internet

<1 %

26

Cepeda Moya, Fernanda Pascal. "Evaluación de las Preferencias de las Personas y Factibilidad Económica del Reúso de Aguas Grises: Un Caso de Estudio de la Región Metropolitana de Chile", Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)

Publicación

<1 %

27

ciencialatina.org

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°00579-2025-UNSCH-EPG/D.**

Siendo las 04:00 p.m. del 17 de julio de 2025 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **Dr. OSCAR GUTIERREZ HUAMANI** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mg. EUSEBIO DE LA CRUZ FERNANDEZ** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. GUIDO PALOMINO HERNANDEZ** y el **Mg. TARCILA ALCARRAZ ALFARO**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DEL USO DEL AGUA GRIS Y PLUVIAL EN LA SOSTENIBILIDAD DEL AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE AYACUCHO**, presentado por el **Bach. ISAI LIMACO CARPIO**. Teniendo como asesor al **Mg. ABRAHAN FERNANDO TREJO ESPINOZA**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: DIECISEIS (16).

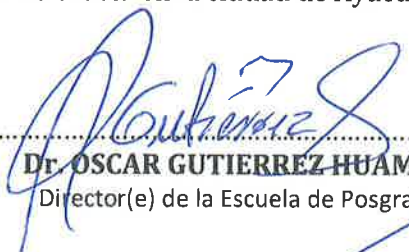
CALIFICACION (x)

Aprobado(a) por Unanimidad.	<input checked="" type="checkbox"/>
Aprobado(a) por Mayoría.	<input type="checkbox"/>
Desaprobado(a) por Unanimidad.	<input type="checkbox"/>
Desaprobado(a) por Mayoría.	<input type="checkbox"/>

(x) Marcar con aspa.

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue al **Bach. ISAI LIMACO CARPIO**, el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Siendo las.....6:00.....hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las.....6:00.....hrs. del 17 de julio de 2025.


.....
Dr. OSCAR GUTIERREZ HUAMANI
Director(e) de la Escuela de Posgrado.


.....
Mg. EUSEBIO DE LA CRUZ FERNANDEZ
Director de la UPG-FIQM


.....
Dr. GUIDO PALOMINO HERNANDEZ
Miembro.


.....
Mg. TARCILA ALCARRAZ ALFARO
Miembro.


.....
Dr. JOSÉ ALARCON GUERRERO
Secretario Docente.

Observaciones:

.....

.....

.....