

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el
tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Zambrano Cayetano, Melissa Milagros

ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70971954

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Zacarias Ventura, Héctor Raúl	Doctor en ciencias de la educación	22515329	0000-0002-7210-5675
2	Camara Llanos, Frank Erick	Doctor en ciencias de la salud	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Inga Caqui, Jhendy Milagros	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	72361661	0009-0006-2217-1494



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:30 horas del día 24 del mes de abril del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Dr. Hector Raul Zacarias Ventura (Presidente)
- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Jhendy Milagros Inga Caqui (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 0520-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICACIA ADSORBENTE DEL CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE COCO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO"**, presentado por el (la) Bach. **ZAMBRANO CAYETANO, MELISSA MILAGROS** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 16 y cualitativo de BUENO (Art. 47)

Siendo las 17:33 horas del día 24 del mes de ABRIL del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Hector Raul Zacarias Ventura
DNI: 22515329
ORCID: 0000-0002-7210-5675
Presidente

Dr. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Secretario

Mg. Jhendy Milagros Inga Caqui
DNI: 72361661
ORCID: 0009-0006-2217-1494
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: MELISSA MILAGROS ZAMBRANO CAYETANO, de la investigación titulada "Eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico", con asesor(a) MILTON EDWIN MORALES AQUINO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1083-2022-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 04 de marzo de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

134. MELISSA MILAGROS ZAMBRANO CAYETANO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.upsc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repository.unipiloto.edu.co

Fuente de Internet

1%

6

revistas.unimilitar.edu.co

Fuente de Internet

1%

7

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

9

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por darme la sabiduría necesaria a lo largo de mi carrera universitaria y demostrarme siempre que sus tiempos son perfectos.

Especialmente a mi madre, quien fue y continúa siendo la mayor fuente de inspiración para mí, por ser un modelo de mujer luchadora que desde el principio tuvo fe en mí, incluso cuando yo dudaba de mi misma, tus oraciones a lo largo de mi vida siempre fueron escuchadas y me llevaron por el camino del bien.

A mi papá, quien ya no está físicamente, pero cuya presencia siento en cada instante de mi vida. Tu memoria siempre vivirá en mí. Miro hacia el cielo por ti.

A mi tío Wilito, por ser una pieza fundamental en mi vida, mi figura paterna más cercana, por su cariño, sus palabras y su apoyo incondicional,

A mi preciosa Khaely Cataleya, mi pilar fundamental y la razón de todo mi esfuerzo, mi niña cada paso que doy es por ti, para asegurarte un futuro lleno de amor y oportunidades.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, que me ha orientado y me brindó la fuerza que necesitaba para seguir adelante.

A mi madre, por sostenerme cuando me daba por vencida, nunca dudaste de mis capacidades,

A mi asesor, por apoyo constante mientras elaboraba mi tesis. Su conocimiento y orientación han sido fundamentales para culminar mi trabajo de investigación.

A mi alma mater, Universidad de Huánuco, por brindarme la oportunidad de formarme en ella, a mis docentes que a lo largo de mi carrera universitaria me inculcaron conocimientos y valores que hoy me son útil en mi vida profesional.

Agradezco a todos los que contribuyeron a este momento, ya sea de forma directa o indirecta, sin su ayuda o conocimientos brindados, este maravilloso proyecto no hubiera sido posible.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPITULO I.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.6.1. VIABILIDAD EN RECURSOS TEÓRICOS	16
1.6.2. VIABILIDAD EN RECURSOS FINANCIEROS.....	16
1.6.3. VIABILIDAD EN RECURSOS METODOLÓGICOS	16
CAPITULO II.....	17
MARCO TEORICO	17
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.	17
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	17
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	19
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	21
2.2. BASES TEÓRICAS	22
2.2.1. EL AGUA	22
2.2.2. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL PLANETA.....	23

2.2.3. LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL RÉGIMEN DE LLUVIA RELACIONADAS CON EL TEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA	30
2.2.4. AGUA DE CONSUMO HUMANO	33
2.2.5. SITUACIÓN DEL AGUA POTABLE EN EL PERÚ	42
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	44
2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS	45
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	45
2.5. SISTEMA DE VARIABLES	46
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	46
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	46
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	47
CAPITULO III	48
MARCO METODOLOGICO	48
3.1. TIPO DE ESTUDIO	48
3.1.1. ENFOQUE	48
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	48
3.1.3. DISEÑO	48
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	49
3.2.1. POBLACIÓN	49
3.2.2. MUESTRA	49
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	49
3.3.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	49
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	51
3.4.1. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	51
3.4.2. RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN	51
3.4.3. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	53
CAPITULO IV	54
RESULTADOS	54
4.1. ANALISIS DESCRIPTIVO	54

CAPITULO IV.....	68
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 La distribución del agua en el planeta.....	24
Tabla 2 Uso del agua en el mundo	29
Tabla 3 Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos	35
Tabla 4 Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	40
Tabla 5 Matriz del Diseño Experimental	49
Tabla 6 Sistema de filtración.....	52
Tabla 7 Características fisicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos.	54
Tabla 8 Características fisicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros	56
Tabla 9 Características fisicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones	58
Tabla 10 Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos	60
Tabla 11 Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros	62
Tabla 12 Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones	64
Tabla 13 Resultados de la prueba de Normalidad (Shapiro–Wilk).....	66
Tabla 14 Comparación de media de las características microbiológicos del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución del agua	25
Figura 2 Ciclo hidrológico	26
Figura 3 Balance del agua	28
Figura 4 Proceso de potabilización del agua	33
Figura 5 Perú: Población que consume agua proveniente de red pública, según departamento, 2019	44
Figura 6 Características físicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos	55
Figura 7 Características físicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros	57
Figura 8 Características físicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones	59
Figura 9 Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos	61
Figura 10 Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros	63
Figura 11 Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones	65

RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo con el propósito de evaluar la eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico. Siendo un estudio de nivel aplicativo con un diseño experimental, la población constituida por la cantidad de agua de lluvia generados en la localidad de Chullqui. Obteniendo como resultado que el tratamiento del agua de lluvia con carbón activado produjo una notable mejora en su calidad microbiológica, reflejada en eliminar totalmente los, coliformes termotolerantes, coliformes totales y *Escherichia coli*, cuyos valores promedio y varianza pasaron de 176, 84 y 45 UFC (con varianza cero) donde la pre y post-test; en cuanto a las bacterias heterótrofas, se observó una disminución de 1021 a 661 UFC/ml; la varianza sugiere cierta variabilidad en la eficiencia del tratamiento. Con relación a los filtros tanto 1 y 2 lograron eliminar completamente el coliforme total, el termotolerante y *Escherichia coli*, dado que en las dos situaciones los valores más bajos fueron de 0. Además, en el caso de las bacterias heterótrofas, persistieron niveles variables tras el tratamiento, con valores mínimos de 602 y 633 UFC/ml, y máximos de 1021 UFC/ml para ambos filtros. Asimismo, se observó variabilidad de los datos según las repeticiones realizadas. Llegando a la conclusión que el carbón activado elaborado con la cáscara de coco resulta altamente efectivo en la mejora de la calidad microbiológica del agua de lluvia para uso doméstico con un p-valor $<0,05$ (0,000).

Palabras claves: carbón activado, cascara de coco, tratamiento, agua de uso doméstico, Adsorción.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the adsorbent efficacy of coconut shell activated carbon in the treatment of rainwater for domestic use. This was an application-level study with an experimental design, and the population consisted of the amount of rainwater generated in the town of Chullqui. The results showed that rainwater treatment with activated carbon produced a significant improvement in its microbiological quality, reflected in the total elimination of total coliforms, thermotolerant coliforms, and *Escherichia coli*. The mean and variance values for these improved from 176, 84, and 45 CFU (with zero variance) in the pre-test to 0 in the post-test. The number of heterotrophic bacteria decreased from 1021 to 661 CFU/ml; the variance suggests some variability in treatment efficiency. Regarding filters 1 and 2, they were able to completely eliminate total coliforms, thermotolerant coliforms, and *Escherichia coli*, with minimum values of 0 in both cases. However, in the case of heterotrophic bacteria, variable levels persisted after treatment, with minimum values of 602 and 633 CFU/ml, and maximums of 1021 CFU/ml for both filters. Data variability was also observed depending on the replicates performed. Concluding that coconut shell activated carbon is effective in improving the microbiological quality of rainwater for domestic use with a p-value <0.05 (0.000).

Keywords: activated carbon, coconut shell, treatment, domestic water, Adsorption.

INTRODUCCIÓN

El acceso a fuentes seguras de agua para uso doméstico continúa siendo un desafío en muchas regiones del mundo, especialmente en zonas rurales y periurbanas donde las infraestructuras de saneamiento son limitadas. En este contexto, la recolección de agua de lluvia representa una opción viable para abastecer lo indispensable para las familias. Aun así, el agua pluvial puede contener contaminantes físicos, químicos y biológicos adquiridos durante su recolección y almacenamiento, lo que exige su tratamiento previo antes del consumo o uso cotidiano.

El carbón activado, debido a su alta capacidad de adsorción y filtración, se ha posicionado como una opción viable para la remoción de contaminantes y microorganismos del agua. Evaluar su eficacia en el tratamiento del agua de lluvia permite generar evidencia científica sobre su potencial como tecnología sencilla, económica y aplicable en contextos domésticos y comunitarios.

Dada esta problemática se ejecutó un método que permite captar agua de lluvia utilizando un sistema de tanque; después, se llevan a cabo análisis químicos y físicos para establecer la condición del agua, con el fin de implementar el sistema adecuado para purificarla y suministrar agua apta para el consumo humano. Además, con el propósito de analizar la eficiencia del carbón activado proveniente de cáscara de coco como material adsorbente en el proceso de tratamiento del agua lluvia destinada al uso doméstico.

Se recopilaron datos microbiológicos de las aguas de lluvia anterior y posterior al tratamiento con dos filtros de carbones activados (Filtro 1 de 216 mm y Filtro 2 de 262 mm). Se midieron indicadores de contaminación fecal (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli*) y bacterias heterotróficas en diferentes repeticiones del proceso. Los resultados cualitativos evidencian la eliminación total de coliformes y *E. coli* en ambos filtros, mientras que en las bacterias heterotróficas se observó una reducción significativa, aunque con variabilidad según la repetición y el filtro utilizado.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este caso, el agua de lluvia tiene el potencial de transformarse en un recurso hídrico no convencional, ya que no está necesariamente conectada con otras fuentes de agua potable. Sin embargo, siempre que se tomen las precauciones necesarias durante la captación y el almacenamiento, puede ser considerado de buena calidad. (Wisbeck et al., 2011).

Igualmente, nos encontramos con uno de los problemas más comunes y complejos que enfrentan las comunidades rurales a nivel mundial es la limitada disponibilidad de agua apta para el consumo. Esta situación se agrava debido a la progresiva reducción de los recursos hídricos y al incremento de los costos necesarios para obtener agua potable. (Avilés & Chaparro, 2020).

La OCDE (2012). proyecta que, para el año 2050, la necesidad global de agua crecerá un 55%. Además, la agricultura continuará siendo el sector que más agua utiliza en todo el mundo, lo cual, en numerosas naciones, equivale frecuentemente a un 70% o más de los recursos que provienen de ríos, lagos y acuíferos. (Pérez Hernández et al., 2017)

Los problemas de salud pública pueden surgir a partir de fuentes de agua contaminadas, por la difusión de enfermedades relacionadas con el agua. Esto pone en evidencia que se requiere emplear tratamientos efectivos para su adecuación y consumo posterior. (Avilés & Chaparro, 2020)

Existen muchos tratamientos, según Avilés & Chaparro (2020). Se llevó a cabo la mejor eliminación de sólidos, color, materia orgánica con el *Escherichia coli* el cual fue la filtración con carbones naturales seguida de la desinfección solar.

De la misma manera, Avelar et al (2019) Recoger y purificar el agua de lluvia es una opción factible, eficaz, eficiente y sostenible para brindar a las

poblaciones que no tienen acceso al agua potable un suministro constante de agua en cantidad y calidad.

Estas comunidades tienen como prioridad tener acceso a sistemas que aumenten la calidad del agua potable. No obstante, en la mayor parte de las ocasiones, los problemas financieros y técnicos hacen que sea poco factible implementar sistemas de suministro de agua potable y drenaje. Considerando esto, la cloración es uno de los métodos más útiles, asequibles y sencillos para desinfectar el agua; de hecho, se trata del método más común en nuestros días.(Cruz M et al., 2005)

Aunque, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene como objetivo guiar y fomentar el uso del agua a través de normativas públicas que garanticen su resguardo y la implementación de un Plan Nacional, basado en estrategias orientadas a disminuir la contaminación y mejorar la calidad del recurso hídrico.(Díaz & Rengifo, 2020.)

La escasez de agua en La localidad de Chullqui puede experimentar períodos de sequía prolongados, lo que reduce la disponibilidad de agua de fuentes superficiales y subterráneas. Además, la falta de acceso a fuentes de agua confiables puede disminuir en la calidad de vida de la población y afectar su salud y bienestar.

La contaminación del agua la falta de sistemas adecuados para el manejo y tratamiento de aguas residuales y el uso inapropiado de prácticas agrícolas y ganaderas pueden provocar la contaminación de fuentes de agua cercanas a las comunidades. Esto resulta en la presencia de patógenos, productos químicos y otros contaminantes que hacen que el agua no sea segura para el consumo humano.

Falta de infraestructura adecuada, La limitada infraestructura y los recursos limitados dificultan la aplicación de las tecnologías y sistemas para el tratamiento del agua que garanticen su potabilidad. Además, la falta de conciencia y conocimiento sobre prácticas adecuadas de manejo del agua puede empeorar la situación.

La problemática del agua en Chullqui tiene un impacto directo en el bienestar y la salud de la población local. El no tener acceso a agua potable segura puede causar la diseminación de enfermedades que se transmiten a través del agua, entre ellas fiebre tifoidea, diarrea y cólera. Esto afecta principalmente a los niños, ancianos y personas con sistemas inmunológicos comprometidos. Además, la escasez de agua puede afectar la producción agrícola y ganadera, lo que puede tener consecuencias negativas en la economía local y la seguridad alimentaria.

Dada esta situación, se plantea diversos tratamientos para el agua de lluvia y así evaluar la efectividad de las mismas. Por tal se plantea la presente interrogante.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las características fisicoquímico y microbiológico del agua de lluvia?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímico y microbiológico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las características fisicoquímico y microbiológico del agua de lluvia.

- Evaluar las características físicoquímico y microbiológico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La elaboración de esta investigación se enfocó directamente en el agua, un recurso natural esencial, ha sido siempre considerado como un derecho humano básico vinculado con la calidad de vida de los individuos. La implementación de sistemas para tratar el agua potable y residual en las ciudades fue uno de los eventos más significativos que cambiaron la forma de vivir del ser humano.

No se observó en el país la renovación de estas estructuras, lo que las volvió desactualizadas e insuficientes para cubrir las necesidades de ciudades en constante crecimiento. En consecuencia, el agua, al ser un recurso natural más esencial, ha generado la necesidad, sobre todo en áreas rurales, de hallar técnicas alternativas para recolectar aguas subterráneas o utilizar las precipitaciones.

Sin embargo, la disponibilidad del agua debe asegurarse a partir de su conservación integral y racional. El recurso hídrico está condicionado por las circunstancias proporcionadas por el ciclo hidrológico y por la rapidez con que se emplea para satisfacer las demandas de la economía y la población.

Por tanto, se intentó llevar a cabo un sistema de tanque para la recolección o almacenamiento de agua de lluvia en función del lugar y el área analizada; después, se realizaron análisis físicos y químicos que establecen las condiciones del agua, con el fin de desarrollar el sistema de potabilización correspondiente para suministrar agua apta para el consumo humano.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El gasto económico que implica el análisis de los parámetros fijados constituye las restricciones que se detectaron en el estudio,

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. VIABILIDAD EN RECURSOS TEÓRICOS

Teóricamente, fue viable porque se apoyó en fundamentos conceptuales y teóricos que fueron mencionados y citados en el marco teórico del trabajo.

1.6.2. VIABILIDAD EN RECURSOS FINANCIEROS

Fue viable económicamente contradiciendo la limitación descrita ya que la inversión económica requerida para llevar a cabo dicho estudio fue asumida por el propio investigador.

1.6.3. VIABILIDAD EN RECURSOS METODOLÓGICOS

Uno de los problemas que más ataca a la localidad es el tema del agua apta utilizada para el ser humano, ya que el agua destinada al consumo deriva del agua de riego solo con tratamiento primario.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Fandiño y Ospina, (2020) afirman: La finalidad del sistema de depuración del agua de lluvia para el consumo humano en un establecimiento educativo rural de Girardot Cundinamarca fue utilizar el agua pluvial para el suministro en una institución educativa rural ubicada en Girardot Cundinamarca, a través de la creación y puesta en funcionamiento de un sistema que trata el agua. La metodología de investigación se empleó un enfoque mixto que incluyó métodos descriptivos, exploratorios y experimentales. Una vez analizada la primera muestra de agua de lluvia en el laboratorio, se encontró que algunos parámetros estaban presentes. Por lo tanto, se elaboró un filtro lento de tipo mixto para el tratamiento de esa agua y alcanzar condiciones óptimas con las condiciones necesarias para su consumo. Además, se incorporaron elementos utilizados en los filtros de agua domésticos y que son recomendados para este propósito, lo cual permite su utilización por la comunidad. Se consideró el permiso para utilizar los tanques de almacenamiento con los que cuenta la escuela emplea en la actualidad y, para filtrar, se utilizó arena sílice y carbón activado con el propósito de eliminar turbidez, olores y microorganismos del agua. Asimismo, los resultados que se lograron en el agua mostraron no solo los parámetros microbiológicos, sino también los fisicoquímicos. Esto fue debido a la elevada turbiedad y al color aparente que presentaba el agua; además, el análisis de laboratorio confirmó la eliminación total de los microorganismos E. coli, junto con la reducción de los coliformes y de la turbidez. De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, el agua cumple diez de los once parámetros necesarios para considerarse adecuada, siendo el parámetro más crítico con la presencia de microorganismos reducido a cero. En resumen, se logró obtener agua apta para ser

ingerida por las personas.

Hernández y Chaparro, (2020) en su trabajo de investigación: Tratamiento de agua de lluvia con fines de consumo humano. Además, el propósito de esta investigación fue determinar los procesos necesarios para que el agua pluvial alcance las condiciones adecuadas para distintos usos de reutilización, entre ellos, es ingerida por los seres humanos. La investigación se realizó en tres fases y tuvo un enfoque experimental. Primeramente, se recolecta y caracteriza el agua de lluvia analizada en diversos intervalos de almacenamiento: el agua recién obtenida, después de 48 horas y tras 96 horas. Luego, se aplica un tratamiento físico de filtrado que sea el más efectivo para eliminar los constituyentes químicos y físicos. Por último, se lleva a cabo la desinfección mediante la técnica SODIS (desinfección solar) junto con el tratamiento que se haya demostrado mayor eficacia en la eliminación de los componentes químicos y físicos. Los hallazgos mostraron que el filtro 3 tiene los resultados más favorables para disminuir la concentración de contaminante y partículas en el agua de lluvia. Los niveles de remoción obtenidos fueron: 80% en color, 79% en turbidez, 77% en cloruros, 53% en fosfatos, 69% en sulfatos, 92% en DQO y, finalmente, 100% en DBO₅. En conclusión, aunque los parámetros analizados del agua lluvia procesada con el sistema escogido satisfacen la normativa colombiana para ser consumida por humanos, en este estudio no se puede asegurar si dicho tratamiento logra una potabilización apropiada del agua de lluvia. Además, las eficiencias de remoción obtenidas fueron del 80% en color, 79% en turbiedad, 77% en cloruros, 53% en fosfatos, 69% en sulfatos, 92% en DQO y un 100% en DBO₅. Por ello, se recomienda evaluar componentes como el nitrógeno, la presencia de hongos, pruebas de toxicidad por metales pesados, así como desarrollar estudios sobre la modelación del transporte de contaminantes atmosféricos. Estos aspectos son fundamentales para comprender con mayor precisión cómo las nubes contaminadas influyen en la composición química del agua de lluvia.

Espinoza, (2021) en su tesis: Estudio de un sistema de utilización de aguas pluviales para el abastecimiento en casas unifamiliares ubicadas en la parroquia Atahualpa, en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Donde el propósito fue investigar un sistema que utiliza el agua de lluvia para abastecer a las casas unifamiliares autosostenibles. La metodología consistió en varias etapas: La etapa de captación, compuesta por una superficie que recolecta el agua de lluvia; la conducción, encargada de trasladar el agua captada mediante bajantes y canaletas hasta el filtro; el sistema de filtración, integrado por un tanque con piedra partida gruesa y fina, zeolita y carbón activado, materiales que permiten limpiar y purificar el agua y finalmente, la desinfección con cloro, que aseguró dicha agua para su uso en la ingesta humana; y finalmente la distribución del líquido filtrado a través de una bomba mecánica conectada al sistema principal de abastecimiento del hogar. Además, los hallazgos indicaron que el agua de lluvia sin tratar, recolectada mediante el sistema de captación, presenta niveles de contaminación bajos o dentro de los límites permitidos: coliformes fecales inferiores a 1.8 NMP/100 mL, un color real de 3 U PtCo, un pH de 7.08 y una turbidez de 2.19 NTU. Estos valores cumplen con lo establecido en el TULSMA 2015, tanto en la tabla 1 sobre Criterios de calidad de fuentes acuáticas para uso humano y doméstico como en la tabla 3 relativa a 'Criterios para riego agrícola'. Con base en los datos obtenidos, se concluye que el agua de lluvia cruda puede ser reutilizada en procesos de potabilización para consumo humano, en actividades de limpieza del hogar y en el riego agrícola. Es importante señalar que, en esta zona, el 42% de las viviendas utiliza agua destinada al riego.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Velásquez, (2021) en su tesis: Sistema de recolección y tratamiento de agua de lluvia mediante canaletas instaladas en los techos impermeables de viviendas rurales situadas en la comunidad de Inchupalla, cuyo propósito fue crear un sistema para captar el agua lluvia mediante canaletas en techos impermeables. Además, se asegura que

este sistema opera con una eficacia del 80% durante la recogida del agua lluvia. Además, la metodología aplicada en el estudio correspondió a un enfoque descriptivo de corte transversal, bajo un diseño no experimental. Se utilizó una muestra compuesta por 87 viviendas. Para recopilar los datos, se recurrió a las técnicas de observación y encuesta. Asimismo, los datos recolectados fueron procesados utilizando el programa Excel 2016. Igualmente, los resultados mostraron que, considerando las edificaciones actuales del centro poblado, el volumen de agua captada podría cubrir las necesidades de una familia de dos integrantes durante cinco meses; mientras que, para un hogar de seis personas, el recurso solo alcanzaría para aproximadamente mes y medio. Por ello, se concluyó que un sistema de abastecimiento basado en una sola fuente, en este caso, el agua de lluvia no sería capaz de cubrir las necesidades hídricas en los meses secos debido a que las lluvias no son regulares en nuestra zona de estudio. Por lo tanto, es una opción de soporte.

Díaz, (2021) en su tesis: Propuesta de un sistema de tratamiento de agua de lluvia destinado a asegurar agua potable para la comunidad nativa Yahuahua, situada en Nieva, Condorcanqui, Amazonas. Perú, años 2018 y 2019. El proceso de potabilización del agua de lluvia constituyó el eje central de la investigación. El objetivo principal fue evidenciar que el sistema prototipo diseñado para tratar el agua pluvial en la comunidad nativa Yahuahua permite obtener agua segura y adecuada para el consumo de los seres humanos.

Durante el periodo de estudio 2018–2019 se recopilaron datos de precipitación diaria mediante dos pluviómetros, se realizó la captación mensual de agua de lluvia y se estimó la demanda hídrica de una familia promedio de seis integrantes empleando un sistema de recolección, almacenamiento y tratamiento. Para determinar tanto el volumen de agua captada como la capacidad requerida del tanque de almacenamiento, se siguieron las metodologías y recomendaciones establecidas por la OPS y el CEPIS. La demanda de agua mensual para

una familia se estimó siguiendo las pautas de la OPS y, con base en la R.M.-192-2018-VIVIENDA, se definió el volumen del tanque a través del balance hídrico. Los hallazgos muestran que, a lo largo de toda la investigación, se registró una cosecha máxima entre 1,44 y 2,88 m³, y un promedio diario que oscila entre 0,29 y 0,55 m³ de agua pluvial. Este último satisface el requerimiento normativo diario para una familia (0,18 m³). Durante junio se observó el mayor volumen de almacenamiento: 1.167 litros. Además, el agua de lluvia tratada por el prototipo satisface la normativa D.S. – 031-2010-SA sobre la calidad del agua para consumo humano. En resumen, el hipoclorito de sodio al 5% es un tratamiento efectivo que disminuye notablemente los Coliformes totales y produce una concentración de cloro residual de 0,1 ppm cuando se aplica en un tanque de almacenamiento con una dosis promedio de 40 mL por cada 1 000 litros de agua. También, para evitar la contaminación cruzada asociada a la crianza de aves cerca de las fuentes de agua, es esencial mantener limpios los techos de recolección.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Romero, (2021) el estudio titulado Análisis de la calidad del agua y diseño de un sistema de potabilización para garantizar su consumo seguro en la localidad de Puerto Rico, provincia de Tocache 2021, tuvo como propósito determinar las condiciones del agua destinada al consumo humano y elaborar un sistema de tratamiento que permita asegurar su potabilidad en dicha localidad de la provincia de Tocache. De igual forma, la población incluye a todos los habitantes de Puerto Rico junto con las áreas aledañas, que participa en el suministro de agua para el consumo público. La metodología es analítica, longitudinal, experimental y aplicada, con un enfoque cuantitativo. Igualmente, la prueba de t de Student, utilizando el SPSS V23, fue el método que empleamos para contrastar la hipótesis. Los resultados mostraron que se compararon las medias con los parámetros físicos y bacteriológicos del agua antes y después de aplicar el tratamiento con cloro, filtro multimedia, filtro de carbón activado granular y luz ultravioleta. En los

parámetros físicos se registró una significancia de 0,038, lo que indica que el agua no cumple con las condiciones adecuadas para el consumo humano y que el sistema utilizado no es efectivo en este aspecto. Por otro lado, en los parámetros bacteriológicos se obtuvo una significancia de 0,000, lo que permitió concluir que el agua es apta para el consumo humano y que el sistema de tratamiento empleado resulta beneficioso para la comunidad. Se concluyó que el sistema de tratamiento de agua para consumo humano fue implementado correctamente. Además, en las 16 muestras analizadas, los parámetros físicos como turbidez, color, conductividad y sólidos totales disueltos se encontraron dentro de los límites máximos permisibles, por lo que se considera que el agua es apta para el consumo de los seres humanos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. EL AGUA

El agua es una sustancia compuesta por moléculas formadas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Además, es un líquido que no tiene sabor (insípido), ni olor (inodoro) ni color (incoloro); sin embargo, también puede encontrarse en estado gaseoso (como vapor) o sólido (cuando se le llama hielo) (Porto, 2022).

Al mismo tiempo, el agua es uno de los recursos fundamentales para la vida en el mundo. No solo para el consumo en casa, sino también para que las actividades industriales y agrícolas puedan operar y mantenerse, los humanos dependemos de su disponibilidad. La necesidad del líquido ha aumentado considerablemente en las últimas décadas para generar más alimentos y energía y proporcionar agua potable a una población en constante aumento. La contaminación del agua es otro inconveniente significativo que está vinculado con la factibilidad de usarla, pues su calidad inadecuada puede empeorar el problema de escasez. Como consecuencia de las descargas de aguas industriales y municipales sin tratamiento anterior, así como por los arrastres que vienen de áreas donde se llevan a cabo tareas agrícolas y

ganaderas, se contaminan las aguas de los cuerpos superficiales y subterráneos (SEMARNAT, 2022).

Sin embargo, el agua ocupa más del 70 % de la superficie terrestre; está presente en el aire, en los océanos, lagos y ríos. Además, es la fuente y el sustento de la vida, ayuda a regular el clima global y con su gran fuerza da forma al planeta. Tiene características singulares que la hacen imprescindible para la vida. Es un material que tiene flexibilidad: es un reactivo perfecto en varios procesos metabólicos, un solvente excepcional, posee una gran capacidad de calor y tiene la característica de expandirse al congelarse. Fernández Cirelli (2012) sostiene que es capaz de moldear el paisaje y alterar el clima a través de su movimiento. (Fernández Cirelli, 2012).

A pesar de que el asunto del agua ha estado enfocado en su mayoría en las necesidades humanas, es crucial subrayar su relevancia como un componente esencial para la operación y conservación de la biodiversidad y los ecosistemas naturales. La función y el mantenimiento de los ecosistemas naturales dependen del agua; sin ella, estos se deterioran y pierden su diversidad biológica, lo que provoca la reducción o eliminación de la calidad de los bienes y servicios ambientales que sustentan a las comunidades (SEMARNAT, 2022).

Aunque un hecho que muestra cuán importante es el agua para nosotros es que el 60% del cuerpo de un adulto está compuesto por agua. En un infante, la proporción es más alta, incluso hasta el 75%. En la Tierra, el 97% del agua se encuentra en los océanos y mares. Por lo tanto, solo el 3% del agua en la Tierra es agua dulce, de la cual el 69% está atrapada en glaciares y casquetes polares, y el 30% restante se encuentra bajo la superficie terrestre. Por consiguiente, únicamente alrededor del 1% del agua dulce está disponible en la superficie para su uso. (Cuadra, 2018).

2.2.2. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL PLANETA

La distribución del agua en nuestro planeta, se deduce una clara

estimación de las aguas marinas constituyen la mayor parte del total, superando el 97%, y representan sin duda la principal reserva para usos futuros como el abastecimiento de agua potable, riego y actividades industriales. Actualmente, el elevado costo del proceso de desalinización limita la existencia de plantas de tratamiento a nivel mundial, las cuales se ubican principalmente en zonas donde no existen otras fuentes de agua disponibles (como Kuwait e Israel) o en destinos turísticos con una economía fuerte (Islas Canarias). De igual forma, la mayor concentración de agua dulce (1,9%) se encuentra en forma de hielo en los casquetes polares, apartada de las áreas pobladas. El volumen almacenado de las aguas continentales hasta una profundidad aproximada de 1.000 m (0,5%) sobrepasa significativamente al que los lagos y ríos del mundo pueden contener en ese mismo instante (0,02%) (Auge, 2007).

Tabla 1

La distribución del agua en el planeta

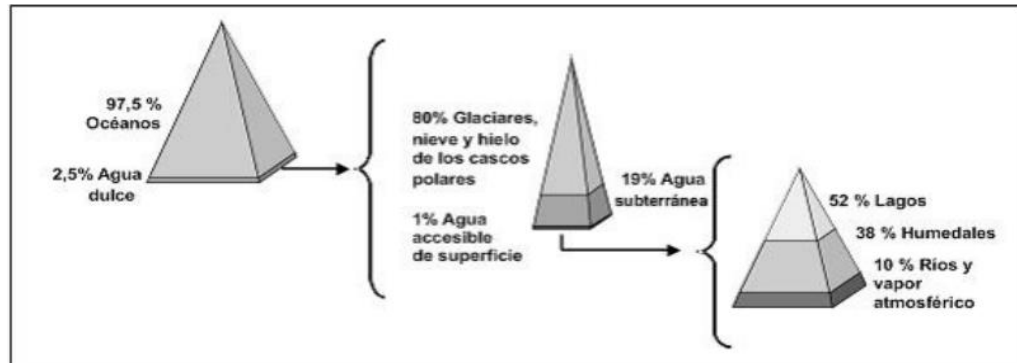
	Agua en la tierra			
	Área <i>Km² · 10⁶</i>	Área <i>Km³ · 10⁶</i>	%	Altura equivalente (m)
Océanos y mares	362	1.350	97,6	2.650
Casquetes polares	17	26	1,9	50
Subterránea	131	7	0,5	14
Superficial	1.5	0.3	0,02	0.6
Del Suelo	131	0.2	0,01	0.4
Atmosférica	510	0,02	0,001	0.04
Total	510	1.383	100,03	2.715

Nota. Información adaptada de Agua fuente de vida, Auge (2007).

Casi el 97,5 % del agua de la Tierra está compuesta por océanos. Solo un 2,5% es agua dulce. Representando el 80% del agua dulce, la nieve, los glaciares y el hielo en los polos constituyen la mayor parte. Por su parte, el agua subterránea alcanza el 19%, mientras que solamente un 1% corresponde al agua de superficie que se puede acceder rápidamente. Esta escasa cantidad de agua superficial que es fácil de acceder se concentra sobre todo en los humedales (38%) y los lagos (52%). (Fernández Cirelli, 2012).

Figura 1

Distribución del agua



Nota. La ilustración muestra cómo se encuentra distribuido el agua dulce y salada en el planeta, Fernández (2012).

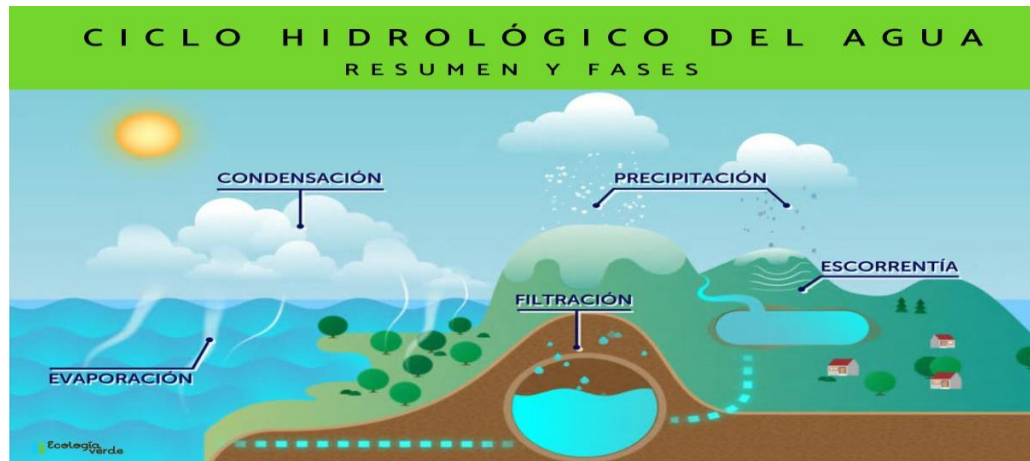
- **El ciclo del agua**

Es el proceso mediante el cual el agua se desplaza desde la superficie terrestre hacia la atmósfera y volver nuevamente a la tierra, que incluye los siguientes pasos: evaporarse desde las aguas continentales, mar o suelo, condensar nubes, precipitarse, acumularse en masas de agua o en el suelo y reevaporarse. Asimismo, el Ciclo del agua incluye un proceso de transporte continuo y recirculante. Además, este movimiento permanente del ciclo se origina principalmente por dos motivos: en primer lugar, la energía que brinda el sol para elevar el agua (evaporación); y en segundo lugar, la gravedad terrestre, que provoca que el agua condensada baje (escurrimiento y precipitación) (Ordoñez, 2011).

A pesar de ello, el agua es un recurso limitado, aunque renovable. Se estima que cada año, los océanos pierden en vaporización unos 505.000 km³ de agua. No obstante, la mayoría vuelve a caer sobre los mismos océanos, lo que impide que sea empleada como recurso de agua dulce. Se calcula que la precipitación anual sobre tierra firme es de 120.000 km³. Ese movimiento a gran escala del agua, que se produce fundamentalmente por la energía solar, se denomina ciclo hidrológico. Este ciclo es un proceso intrincado que contiene la infiltración, la precipitación, el escurrimiento y la evapotranspiración. (Fernández, 2012).

Figura 2

Ciclo hidrológico



Nota. La ilustración muestra los procesos del ciclo hidrológico, Osorio (2022).

- **Etapas del ciclo hidrológica**

- 1. Evaporación:**

El ciclo del agua comienza en los océanos y cuerpos de agua continentales, que contribuyen aproximadamente con el 80% de la evaporación total. En estas áreas, la radiación solar eleva la temperatura, lo que provoca la transformación del agua en vapor. Además, la evaporación también ocurre a través de procesos biológicos como la transpiración de las plantas y la sudoración en los animales, mediante los cuales el agua asciende hacia la atmósfera (Osorio, 2022).

El agua de la superficie terrestre pasa a la atmósfera por medio de la evaporación, un procedimiento en el que el agua superficial se transforma del estado líquido al estado gaseoso. Cerca del 80 % de la evaporación total del agua proviene de los océanos, mientras que el 20 % restante se origina en el agua de las zonas continentales y en la transpiración vegetal. El agua evaporada se lleva el viento (Vera & Camillon, 2011).

- 2. Condensación:**

Tiene lugar cuando el agua de las plantas, el suelo y los océanos se encuentra en la atmósfera. Cuando la temperatura disminuye y la

presión cambia, el vapor de la transpiración se condensa. Esto significa que el agua se concentrará en gotas más grandes, creando nubes. Este procedimiento convierte el estado gaseoso del agua en líquido. Estas nubes son trasladadas por el viento hasta las zonas de tierra firme (Osorio, 2022).

Igualmente, la condensación es el proceso mediante el cual el agua cambia de su estado gaseoso, conocido como vapor de agua, a estado líquido. Al mismo tiempo, este fenómeno ocurre generalmente en la atmósfera cuando el aire caliente asciende, se enfría y disminuye su capacidad para retener vapor de agua. Como resultado, el exceso de vapor se condensa formando las gotas que conforman las nubes. (Vera y Camillon, 2011).

3. Precipitación:

Las nubes ahora estarán llenas de agua y, debido a su peso, descenderán hacia la tierra. Pueden caer como lluvia, granizo, nieve o deshielo, dependiendo del área y la altitud en la que se localicen. El agua tiene tres estados, y el tercero es el sólido (Osorio, 2022).

Las lluvias son el principal medio por el cual el agua se transporta desde la atmósfera a la superficie de la Tierra. También, cuando las gotas de agua formadas en las nubes por la condensación del vapor en la atmósfera, mediante los procesos antes descritos, aumentan su tamaño y peso hasta volverse demasiado pesadas para mantenerse en la nube, precipitan o descienden hacia el suelo.

Los núcleos de condensación, que son partículas muy diminutas de humo, polvo, sulfatos y sal, son el lugar donde se condensa el vapor de agua para crear las gotas que componen las nubes. En términos generales, se encuentra alrededor de 1000 núcleos de condensación por cm³ sobre las zonas continentales. (Vera y Camillon, 2011).

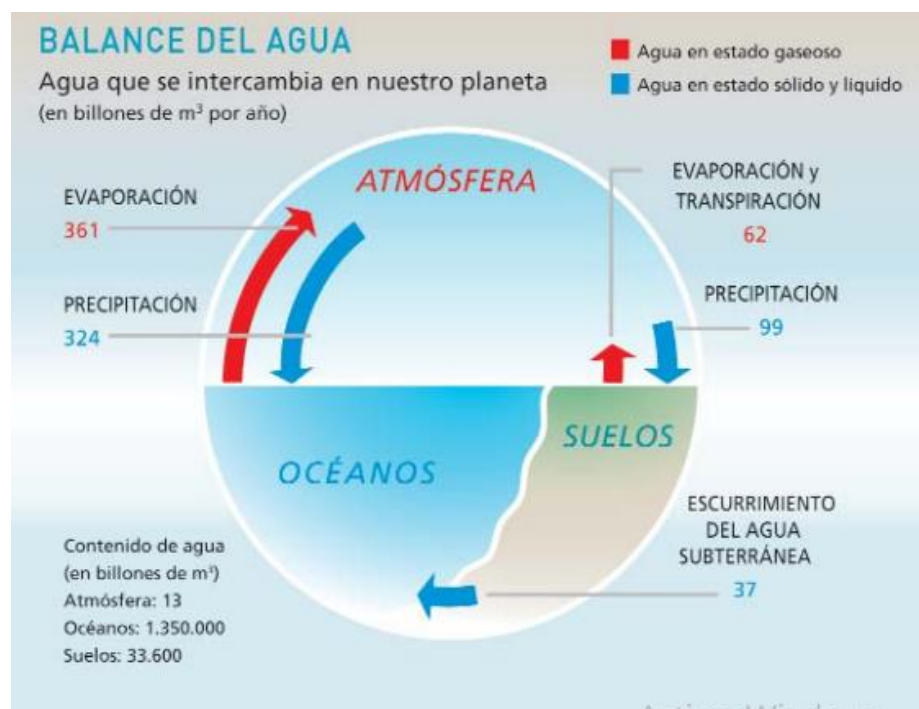
4. Escurrimiento e infiltración:

El agua que proviene de las precipitaciones se depositará en el

suelo y será llevada por escurrimientos o ríos. La lluvia podrá ser transportada por el agua que se filtra a través de sus poros hacia la capa subterránea. A esta etapa del ciclo hidrológico se le conoce como infiltración, y tiene lugar cuando el agua pasa por los cauces. Aquí alcanzará el subsuelo, donde existen numerosas reservas de agua. Además, el agua que se encuentra en la tierra firme tiene dos posibilidades: puede evaporarse para reiniciar el ciclo o puede llegar al océano a través de las vías fluviales. (Osorio, 2022).

Figura 3

Balance del agua



Nota. La ilustración muestra cómo se encuentra el agua en sus diferentes estados en el planeta, Vera y Camillon (2011).

2.2.2.1. TIPOS DE AGUA

Además, es interesante señalar el consumo total de agua a nivel global y cómo ha cambiado con el tiempo, así como la distribución en función del uso.

Tabla 2*Uso del agua en el mundo*

año	Consumo total		Agricultura		Industria		Agua potable	
	km3/año		km3/a	(%)	km3/a	(%)	km3/a	(%)
1900	400		350	87,5	30	7,5	20	5
1950	1100		820	74,5	220	20	60	5,5
1975	3000		2200	73	650	22	150	5
2000	5000		3400	68	1250	25	350	7

Nota. Información adaptada de Agua fuente de vida, Auge (2007).

Aguas pluviales: El término latino pluviālis se introdujo en el castellano como pluvial. Se llama así a lo relacionado con la lluvia, o sea, el agua que cae de las nubes. El fenómeno que empieza con el vapor en las nubes y termina con la precipitación de agua sobre la superficie terrestre está afectado por la presión atmosférica, la temperatura y la humedad del aire. El agua de lluvia también se llama agua pluvial (Perez & Gardey, 2020).

El agua de lluvia puede seguir las rutas siguientes:

Quedar depositada en la superficie vegetal. Especialmente durante lluvias de poca intensidad o de corta duración, o cuando la vegetación es muy densa. Además, esta agua se evapora directamente desde las plantas y regresa a la atmósfera sin llegar a infiltrarse en el suelo.

Alcanzar la superficie del suelo e infiltrarse.

En este proceso, el suelo actúa como un medio permeable y poroso, con diferentes tasas de infiltración a lo largo de su perfil. A mayor cantidad de agua, se filtra en un aguacero, mayor es su utilidad porque los caminos que puede tomar son beneficiosos: la recarga de la napa freática y la producción vegetal.

Alcanzar la superficie del suelo y escurrir. La escorrentía superficial ocurre cuando la rapidez de infiltración del suelo es

sobrepasada por la intensidad de las precipitaciones. La escorrentía puede provocar erosión y es perjudicial porque, además de constituir un volumen de agua sin usar, ocasiona perjuicios en la zona y aguas abajo (crecidas, sedimentación, contaminación). (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2013).

2.2.3. LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL RÉGIMEN DE LLUVIA RELACIONADAS CON EL TEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA

Frecuencia y cantidad de las precipitaciones.

La intensidad de las precipitaciones influye en la infiltración del agua; las lluvias muy intensas suelen generar escorrentía y perderse, mientras que las de menor intensidad tienen mayores probabilidades de infiltrarse en el suelo y ser aprovechadas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

2.2.3.1. TRATAMIENTO CONVENCIONAL

Se entiende por estas aguas a las que se destinan para proveer agua para el consumo de los seres humanos y que pasan por un tratamiento tradicional, empleando dos o más de los siguientes procedimientos: sedimentación, decantación, coagulación, filtración y/o floculación (o métodos equivalentes). Esta definición incluye su desinfección, según lo establecido en la legislación vigente (DS N° 004-2017-MINAM, 2017).

Coagulación

El término coagulación química alude a todos los procesos y reacciones que intervienen en la desestabilización de las partículas coloidales, con el fin de disminuir las fuerzas repulsivas coulómbicas entre ellas. Además, la adición de un químico denominado coagulante, que favorece la formación de flóculos, puede inducir una desestabilización química de los coloides.

También, la efectividad de un agente coagulante depende de su carga eléctrica. Los iones trivalentes son diez veces más efectivos que los divalentes porque tienen una capacidad superior para neutralizar la carga opuesta (Comisión Nacional del Agua, 2015).

De igual forma, en una cámara de mezcla, se incorporan al agua varios componentes químicos para asegurar su potabilidad y coagulantes. Asimismo, se modifica el pH del agua (Roldan, 2019).

Floculación

Se lleva a cabo al aplicar energía al agua para que esta se agite; por ende, el floculador es un tanque diseñado para realizar una mezcla lenta y suave, contando con un tiempo de retención específico para favorecer la formación de flóculos más o menos largo. Los floculadores pueden ser categorizados como mecánicos o hidráulicos, dependiendo del tipo de energía que empleen. Igualmente, los floculadores mecánicos son los que necesitan de una fuente externa de energía para accionar un agitador, que puede consistir en paletas o rotores, mientras que los floculadores hidráulicos aprovechan la propia energía del agua a través de una pérdida de carga hidráulica (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Igualmente, la floculación es el proceso que, después de neutralizar las cargas de los coloides, promueve que las partículas entren en contacto a través de un mezclado suave. Esto provoca que aumente la frecuencia con la que se encuentran o colisionan entre sí y terminen formando flóculos, lo cual favorece su precipitación. (Romero Rojas, 2000).

Sedimentación

Es la eliminación, en un tanque que funciona por gravedad, de partículas, flóculos químicos y precipitados contenidos en una suspensión. Además, la sedimentación se usa para deshacerse de la parte de sólidos que se asientan, que representa el 60% de los

sólidos visibles en el agua. Se define como sólidos sedimentables a las partículas que, debido a su peso y tamaño, sedimentan en una hora. Además, estos sólidos pueden ser los que ya estaban en el agua, o bien los flóculos o precipitados generados durante algún proceso químico, como la coagulación-floculación. La estructura que se utiliza para disminuir la velocidad del agua lo suficiente como para permitir el asentamiento de los sólidos sedimentables, recibe el nombre de sedimentador (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Filtración

Es considerado uno de los métodos más empleados para el tratamiento de aguas superficiales es la filtración. Se utiliza con regularidad después del procedimiento de coagulación, floculación y sedimentación, o después de la coagulación y floculación (filtración directa), para suprimir los sólidos que están presentes en el agua desde un inicio, así como los precipitados por medio de compuestos químicos. La filtración rápida es el tipo de tecnología de filtración granular más utilizada para tratar el agua. Además, la filtración lenta en arena es una tecnología antigua que presenta tasas de filtración 50 a 100 veces más bajas, por lo que se emplea el término para diferenciarla. (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Es el momento en que el agua fluye hacia unos filtros con el propósito de eliminar partículas diminutas suspendidas que no se hayan eliminado previamente, como residuos de microorganismos, algas, flóculos pequeños y demás. Los filtros suelen estar compuestos por grava, arena y carbono activado (García, 2019).

Figura 4

Proceso de potabilización del agua



Nota. La ilustración muestra cuales son las etapas de la potabilización del agua, Aerociencias (2022).

2.2.4. AGUA DE CONSUMO HUMANO

Los ríos, los lagos, los arroyos, los embalses y las reservas de agua subterránea son las fuentes de agua que llegan a nuestros hogares. Asimismo, esta agua contiene microorganismos, como dinoflagelados, diatomeas y cianobacterias, así como partículas inorgánicas (metales) y materia orgánica. También, el agua que consumimos no es igual a la que existe en la naturaleza. El agua no potable presenta riesgos para la salud, por lo que debe ser sometida a un procedimiento destinado a hacer el agua apta para el consumo humano, el cual implica la eliminación de microorganismos y de las partículas en suspensión. Este proceso se realiza en instalaciones conocidas como Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) o Estaciones Potabilizadoras de Agua (EPA) (García, 2018).

Son aguas puras, libres de contaminación, bacterias y otros elementos perjudiciales es la base fundamental para las sociedades que son sostenibles, prósperas y justas. Para lo anterior, es esencial una buena gestión de los ecosistemas que proveen agua potable de calidad. En esta se involucran las empresas privadas (en particular, los promotores), el gobierno en todos sus niveles, las entidades públicas, las comunidades locales e indígenas, las organizaciones no gubernamentales y otros actores relevantes (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2010).

La disponibilidad del servicio al agua potable, al saneamiento y a condiciones adecuadas de higiene constituye un derecho fundamental. No obstante, millones de personas en el mundo continúan afrontando serias dificultades cada día para disponer de estos servicios esenciales. Se estima que alrededor de 1.800 millones de individuos consumen agua contaminada con residuos fecales, y cerca de 2.400 millones aún carecen del servicio indispensable de saneamiento, incluyendo letrinas y retretes. Más de 40% de la población del mundo resulta perjudicada por la carencia de agua y este porcentaje tiene el potencial de crecer, más del 80% de las aguas residuales generadas por el ser humano se vierten en los mares o ríos sin tratamiento previo, lo que resulta en su contaminación. (FAO, 2016).

Agua de consumo humano: Es la más adecuada para ser consumida por los humanos y para cualquier uso doméstico regular, incluyendo la higiene personal (DS N° 031-2010-SA, 2010).

Igualmente, el agua es un recurso esencial para la humanidad. De acuerdo con la ONU, cada individuo en el planeta necesita entre 20 y 50 litros de agua potable, en condiciones seguras y aptas para el consumo diario, destinados a beber, preparar alimentos y realizar la higiene personal. Reconoce que disponer de agua de calidad es un derecho esencial para todas las personas y un elemento clave para mejorar el bienestar global. También, las poblaciones que carecen de recursos hídricos suficientes suelen presentar desventajas económicas, lo que

mantiene a sus habitantes inmersos en un ciclo persistente de pobreza (INEI, 2020).

2.2.4.1. REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

El reglamento vigente establece la disposición general para gestionar la calidad del agua destinada al consumo humano, con el fin de garantizar su inocuidad, prevenir riesgos sanitarios y salvaguardar la salud y el bienestar de la población. Asimismo, tanto este reglamento como las normas sanitarias complementarias emitidas por el Ministerio de Salud deben ser cumplidos obligatoriamente por todas las personas, sean jurídicas o naturales, públicas o privadas, que estén dentro del territorio nacional y tengan responsabilidad según la ley o se involucren a todas las actividades vinculadas con la operación, mantenimiento, administración, gestión, control y fiscalización del suministro de agua para consumo humano, abarcando todo el proceso desde su fuente hasta el momento en que es utilizada por la población. (DS N° 031-2010-SA).

a) Límite Máximo Permisible

Es el valor más alto que se permiten para los parámetros que representan la calidad del agua (DS N° 031-2010-SA).

Tabla 3

Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0

6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

Nota. Información adaptada del DS N° 031-2010-SA.

b) Parámetros microbiológicos

Es un parámetro utilizado en la gestión de riesgos que permite determinar si un alimento es aceptable o si el proceso o sistema de control de inocuidad está funcionando correctamente. Esta evaluación se realiza a partir de los resultados obtenidos en el muestreo y análisis destinados a identificar microorganismos, sus toxinas, metabolitos, marcadores de patogenicidad u otras características relevantes en un punto determinado de la cadena alimentaria (CAC, 2013).

Por eso, son microorganismos que se examinan están presentes en el agua destinada al consumo humano y funcionan como señales de contaminación o como agentes capaces de causar enfermedades en las personas. (DS N° 031-2010-SA).

Bacterias Coliformes Totales

Sin embargo, las bacterias coliformes constituyen un conjunto de especies que comparten rasgos comunes y que suelen emplearse como señal de posible contaminación en alimentos y agua. Para ser clasificada como coliforme, una bacteria debe pertenecer al grupo entérico, no producir esporas, ser gramnegativa y desarrollarse en condiciones aerobias o anaerobias facultativas. Generalmente, estas bacterias viven en el aparato digestivo de las personas y de los animales de sangre caliente; no obstante, también pueden hallarse en el suelo y en la vegetación (Perez, 2020).

No obstante, los coliformes constituyen un conjunto de bacterias que suelen encontrarse en la vegetación, en el ser

humano, en el suelo y en diversos animales. Su presencia en el agua indica una posible contaminación por aguas residuales u otros desechos en descomposición. Habitualmente, estas bacterias se concentran en la parte superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Ramos Ortega et al., 2008).

E. Coli: Esta bacteria se distingue por ser no esporulante, tener bacilos Gram negativos, producir indol a partir de triptófano y no generar acetoina ni utilizar citrato como fuente de carbono. Asimismo, fermenta la lactosa y la glucosa generando gas. Al igual que todas las bacterias Gram -, la envoltura de E. coli está formada por tres componentes: la membrana externa, la membrana citoplasmática y un espacio periplásmico entre ellas compuesto de péptido-glucano. Además, esta última estructura le da a la bacteria su forma y rigidez, además de posibilitar que soporte presiones osmóticas ambientales bastante altas. E. Es el taxón bacteriano más investigado, a pesar de que el conocimiento sobre las cepas silvestres sigue siendo parcial; coli tiene múltiples rasgos y facetas. Se cree que las habilidades adaptativas de esta bacteria son inusuales porque adquiere nuevos genotipos de plásmidos, bacteriófagos y otros componentes que propagan su material genético. Asimismo, su reconocida capacidad de ubicuidad propicia la aparición recurrente de cepas con propiedades nuevas, entre las que se incluyen capacidades patógenas que no son fáciles de detectar (Canet, 2016).

Escherichia coli (E. coli) es comúnmente encontrada en el tramo final del intestino de los organismos de sangre caliente es el hábitat habitual de estas bacterias. Aunque la mayoría de las cepas de E. coli no representan un peligro, ciertas variantes pueden causar enfermedades transmitidas por alimentos. (Organización mundial de la salud, 2018).

Bacterias Coliformes Termotolerantes:

Se les llama así a los coliformes que soportan temperaturas de hasta 45 °C. Se entiende que los microorganismos son un número muy pequeño y se consideran indicadores de calidad debido a su origen (Flores Sotil, 2017).

Se les llama organismos indicadores a las bacterias coliformes porque su presencia puede señalar que hay bacterias patógenas en el agua. Además, detectar coliformes en el agua no implica necesariamente que su consumo provoque una enfermedad; más bien, indica que existe una vía de contaminación que conecta el agua con alguna fuente de microorganismos (agua superficial, sistema séptico, excrementos de animales, etc.) y la provisión de agua. Esta ruta puede ser empleada por las bacterias que provocan enfermedades para introducirse en el abastecimiento de agua (Swistock, 2022).

Bacterias Heterotróficas: Son un conjunto de bacterias ambientales que se encuentran en todos los cuerpos acuáticos y tienen una extensión amplia. Son indicadores de cuán efectivos son los procesos de tratamiento, sobre todo la descontaminación (desinfección) (Marchand Pajares, 2020).

Los microorganismos que producen sus propias biomoléculas basándose en compuestos orgánicos complejos de carbono, aunque tienen la capacidad de absorber elementos inorgánicos distintos al carbono, se conocen como bacterias heterótrofas u organotrofas. Además, algunos necesitan parasitar a organismos más complejos para sobrevivir. Además, las bacterias heterótrofas se dividen en dos categorías: quimioheterótrofas y fotoheterótrofas. Se diferencian en que las primeras emplean la luz como fuente de energía y las segundas, por el contrario, usan energía química. Sin embargo, ambas hacen uso de compuestos orgánicos para obtener carbono. (Gil, 2019).

Huevos y larvas de Helmintos: Se consideran un indicador de contaminación y se incluyen en los análisis bacteriológicos porque son mucho más difíciles de eliminar que las bacterias durante el tratamiento del agua. Estos parásitos, altamente resistentes, no siempre se erradican; en ocasiones solo se trasladan del agua al sedimento. Asimismo, los helmintos pueden infectar tanto a animales como a seres humanos. También, los daños que causan estos organismos son significativos; una sola célula es capaz de generar enfermedades cardíacas e intestinales (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2022).

Los huevos de helmintos, presentes en el ambiente, son muy relevantes para la salud pública por su baja dosis infectiva y su gran resistencia a diferentes situaciones ambientales, como el pH, la humedad y la temperatura, además de resistir la desinfección con cloro. También son empleados los géneros más comunes son *Trichuris*, *Ancylostoma* y *Hymenolepis* y *Ascaris*. Estos son utilizados como indicadores para identificar parásitos por contaminación fecal en aguas residuales que ya han sido procesadas, además de en biosólidos y lodos generados por los sistemas de tratamiento.(Campos et al., 2018).

Virus: Son fragmentos diminutos de ADN (ácido desoxirribonucleico) o ARN (ácido ribonucleico). Muchos de ellos están envueltos en una cápside, que es una cubierta compuesta por proteínas. Además, otros virus envuelven su material genético con una membrana procedente de la célula que infectan; algunos incluso añaden una capa adicional que cubre la cápside con parte de la membrana celular. En líneas generales, los virus de ADN utilizan parte de la información y de la maquinaria celular del hospedador. El problema de este mecanismo radica en que muchas de las células maduras del huésped no se encuentran en procesos activos de replicación, sino que están en reposo para conservar energía. Por ende, los virus de ADN requieren hallar la

forma de activar el motor (pasarle corriente) a la célula huésped o, en su lugar, llevar consigo los componentes de aquellas partes celulares que permanecen inactivas al entrar el virus. Lo que hacen los virus para multiplicarse es tomar la fábrica de las células y hacer que produzcan virus en vez de nuevas células (Alarcon, 2022).

Organismos de vida libre: Los microorganismos de vida libre. Son los que tienen la habilidad de llevar a cabo todo su ciclo vital sin depender en absoluto de la planta. Esto quiere decir que para la adquisición de nutrientes no dependen directamente del metabolismo de esta. No se ven beneficiados ni perjudicados por ella. Por otro lado, gracias a los microorganismos de vida libre, la planta se beneficia del metabolismo de estos. En efecto, recibe algunos nutrientes por medio de ellos (Symborg, 2022).

c) Parámetros de calidad organoléptica

Son las características físicas, químicas y/o microbiológicas que el consumidor puede detectar en el agua para el consumo de los seres humanos mediante su percepción sensorial (DS N° 031-2010-SA).

Tabla 4

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	-----	Aceptable
2. Sabor	-----	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl – L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ = L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg Ca CO ₃ = L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3

13. Manganeseo	<i>mg Mn L⁻¹</i>	0,4
14. Aluminio	<i>mg Al L⁻¹</i>	0,2
15. Cobre	<i>mg Cu L⁻¹</i>	2,0
16. Zinc	<i>mg Zn L⁻¹</i>	3,0
17. Sodio	<i>mg Na L⁻¹</i>	200

Nota. Información adaptada del DS N° 031-2010-SA.

Turbiedad:

Turbidez: Esta es provocada por partículas suspendidas y coloidales como el sedimento, la arcilla, la materia orgánica e inorgánica dividida de manera muy pequeña, el plancton y otros microorganismos diminutos. También, la turbidez refleja una propiedad óptica que ocurre cuando la luz es dispersada y absorbida, en vez de pasar directamente a través del flujo sin modificar su trayectoria de un ejemplar; dicho de otro modo, es el rasgo óptico de una suspensión que provoca que la luz sea reemitida y no transmitida por ella. Mientras más intensa sea la dispersión de luz, mayor será la turbidez. Es complicado correlacionar la turbidez con la concentración o el peso de partículas de materiales suspendidos, debido a que las propiedades de dispersión de la luz en la suspensión se alteran según el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas. Es fundamental determinar la turbidez en el agua destinada al consumo humano, así como en una amplia variedad de industrias que procesan alimentos y bebidas. (Carpio Galvan, 2007).

pH: En química, es una escala numérica que se emplea en química para determinar la alcalinidad o acidez de una solución acuosa. Corresponde al logaritmo decimal negativo de la actividad del ion hidrógeno. Además, las soluciones se consideran ácidas cuando su pH es inferior a 7 y, en cambio, se consideran alcalinas o básicas si su pH es superior a 7. Asimismo, el agua pura presenta un pH de 7, el cual es neutral, por lo que no es ni alcalina ni ácida. El valor del pH puede ser menor de cero o mayor de catorce para las bases y los ácidos muy fuertes, en contra de lo que se cree

comúnmente. No obstante, medir con exactitud estos extremos es complicado (Vasquez Contreras & Rojas Perez, 2016)

Sólidos totales disueltos: TDS es un indicador de material en una muestra de agua, que tiene un tamaño menor a 2 micrones (dos millonésimas de metro) y no pueden removerse mediante un sistema de filtración común. Los TDS, que representan la concentración total de metales, minerales y sales disueltas en el agua, constituyen un indicador confiable de su calidad. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) clasifica al TDS como un contaminante secundario y recomienda un límite de 500 mg/L en el agua potable. La razón por la que se establece este estándar secundario es que el TDS alto hace que el agua tenga un aspecto turbio y su sabor disminuya. Las personas que no están acostumbradas a consumir el agua con concentraciones altas de TDS puede provocar molestias gastrointestinales. Asimismo, estos sólidos disueltos pueden afectar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento, por lo que su control resulta un factor relevante a tener en cuenta al poner en marcha un sistema para tratar el agua. El tratamiento de agua por TDS puede llevarse a cabo mediante destilación u ósmosis inversa (Sigler & Bauder, 2012).

Conductividad: eléctrica (CE) del agua es un indicador de su habilidad para conducir la corriente eléctrica. La CE se expresa en el Sistema Internacional de Unidades como siemens por metro (S/m), pero con el fin de que sea más sencillo, a una temperatura de 25°C se emplea $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Solís Castro et al., 2018).

2.2.5. SITUACIÓN DEL AGUA POTABLE EN EL PERÚ

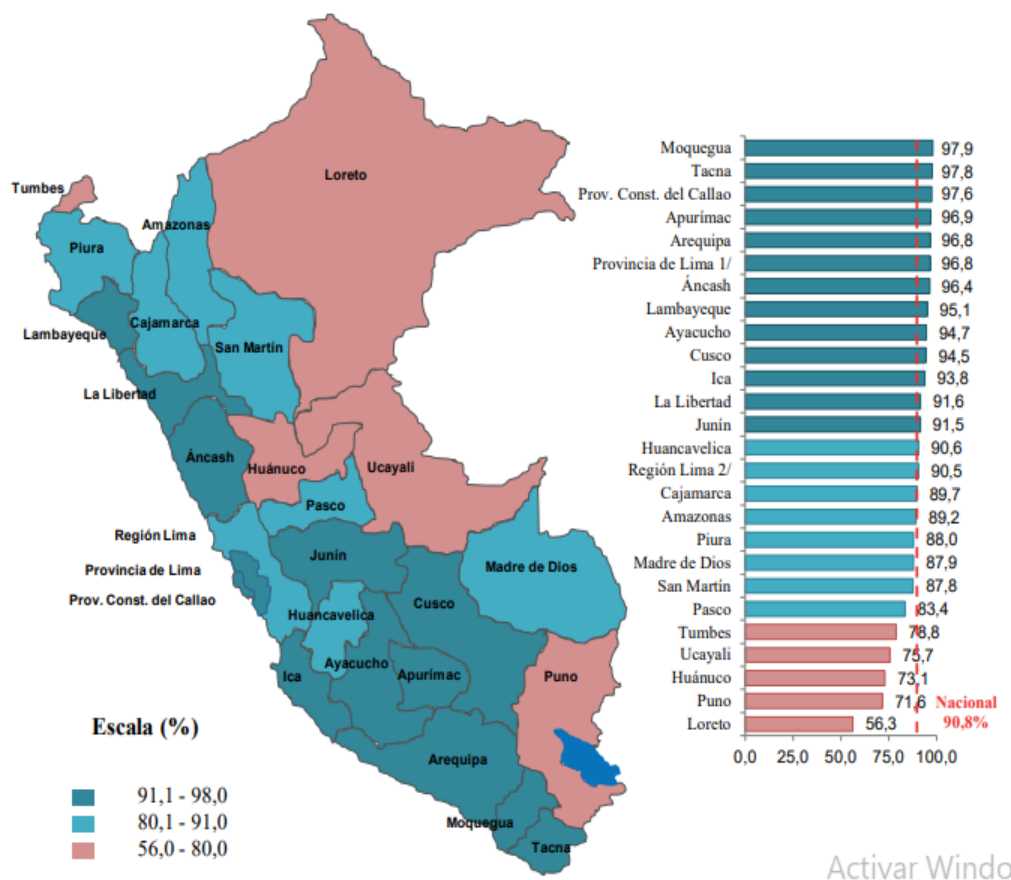
La gestión del agua en el país se ha desarrollado bajo un enfoque sectorial, centrado en atender las demandas específicas de cada tipo de uso. Esto ha dejado de lado una visión integral que considere, a nivel de cuencas, tanto la cantidad como la calidad del agua, la relación entre

oferta y demanda, la interacción entre los recursos hídricos y el suelo, así como las aguas superficiales y subterráneas, entre otros elementos. Este tipo de gestión tampoco incorporó la participación de todos los actores involucrados los usuarios o actores del recurso, y delegó al sector agrario la responsabilidad de administrar el agua. También, la gestión del agua bajo esta perspectiva se llevó a cabo con un sistema de gestión que no formalizaba los derechos o autorizaciones de uso del agua, y no contaba con tarifas que permitieran financiar los costos de suministro ni con sistemas que garantizaran su cobro. Como consecuencia, los distintos sectores usuarios incluido el de agua potable y saneamiento no perciben que enfrentamos una situación en la que la demanda hídrica continúa creciendo mientras que la disponibilidad del recurso se mantiene estable. En muchas ocasiones, debido al cambio climático y a la contaminación, incluso disminuye. (Oblitas de Ruiz, 2020).

Oblitas (2010) el consumo de agua a nivel nacional se sitúa por encima de los 20 mil millones de metros cúbicos anuales, con una distribución del 80% para la agricultura, el 12% para los habitantes, el 6% para la industria y el 2% restante para la minería. El uso no consuntivo, en cambio, llega a los 11 mil millones de metros cúbicos anuales, principalmente en el ámbito energético. Hay una gran disparidad territorial entre el uso y la disponibilidad de agua (véase en el Cuadro 12). La cuenca del Amazonas alberga el 97% de los recursos hídricos del país, en comparación con la vertiente del Pacífico, que concentra con la población, las actividades productivas y la demanda hídrica, pero posee menos del 2% de los recursos hídricos.

Figura 5

Perú: Población que consume agua proveniente de red pública, según departamento, 2019



Nota. La ilustración muestra por departamento el porcentaje de agua que consumen de la red pública, Romero (2020).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Tratamiento convencional:** Se entiende como aquellas aguas que se utilizan para proveer agua para el consumo humano y que han pasado por un tratamiento convencional, utilizando dos o más de los siguientes procedimientos: Coagulación, sedimentación, decantación, filtración o floculación; y/o procesos similares. Esto incluye su desinfección, conforme a la normativa vigente (DS N° 004-2017-MINAM).
- **Agua apta para el consumo humano:** Se puede considerar que el agua es de buena calidad si está limpia y es salubre, lo que significa que no tiene contaminantes ni microorganismos patógenos en niveles que puedan dañar la salud de los consumidores. Gracias a los estrictos sistemas de vigilancia y control analítico, así como a los suministros de

alta calidad, en nuestro país el agua llega a las casas en condiciones óptimas y puede ser consumida con seguridad. Por eso, se realizan diversos controles sanitarios y un tratamiento de potabilización del agua ante el (Ministerio de sanidad, 2022).

- **Aguas pluviales:** Este término se refiere a lo relacionado con la lluvia, es decir, el agua que cae desde las nubes. El fenómeno que empieza con el vapor en las nubes y termina con la precipitación de agua sobre la superficie terrestre está afectado por la presión atmosférica, la temperatura y la humedad del aire. El agua de lluvia es conocida como agua pluvial (Pérez y Gardey, 2020).
- **Precipitación:** Cuando las gotas de agua en las nubes aumentan de tamaño hasta que la fuerza de gravedad hace que caigan sobre el planeta, se produce la precipitación. Por lo tanto, las precipitaciones son fundamentales en el ciclo del agua que posibilita la vida en la Tierra (Perez & Merino, 2022).
- **Lluvia:** Específicamente, también se denomina precipitación pluvial. Hay que señalar que se mide a través de dispositivos como los pluviógrafos y los pluviómetros, usando milímetros o litros por metro cuadrado como unidad de medida (Pérez y Merino, 2015).
- **Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano:** Este reglamento establece las disposiciones generales para gestionar la calidad del agua destinada al consumo humano, con el objetivo de asegurar que sea inocua, prevenir los factores de riesgo sanitarios y proteger y fomentar la salud y el bienestar de la población (DS N° 031-2010-SA.).

2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Hi: El carbón activado de cáscara de coco es eficaz en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico.

Ho: El carbón activado de cáscara de coco no es eficaz en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico

2.5. SISTEMA DE VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tratamiento con carbón activado

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Agua para uso doméstico

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	u. medida	normativa	Escala
VARIABLE INDEPENDIENTE							
adsorción con carbón activado	El agua lluvia es un recurso natural renovable que posee bajos índices de contaminación. En zonas rurales, el acceso al agua potable puede convertirse en una actividad factible.	Definimos como la transformación de las características del agua contaminada a agua apta para consumo humano	Carbón activado de coco	Peso Densidad Porosidad	Kg Kg/L Unid.		De razón
VARIABLE DEPENDIENTE							
Agua para uso doméstico	Conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que debe tener el agua para ser consumida por las personas sin padecer alguna patología.	Conjunto de características bacteriológicas que tiene el agua para ser consumida por los pobladores de la localidad.	fisicoquímico	pH	Unid.	Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA	De razón
				Color	UCV		
				Turbiedad	UNT		
				Solidos totales	Mg/l		
			microbiológicos	C. totales	UFC		
				C. termotolerantes	UCF		
				B. Heterotróficas	UCF		
				E. coli	UCF		

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO DE ESTUDIO

De acuerdo con, (Hernandez Sampieri et al., 2014) el estudio fue experimental porque hay manipulación de la variable por parte del investigador.

Fue longitudinal ya que se realizó más de una medición y prospectivo ya que se recolectó el agua de lluvia de la localidad de Chullqui.

3.1.1. ENFOQUE

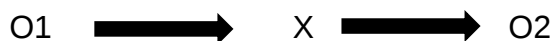
El estudio tiene una perspectiva cuantitativa, pues se fundamenta en la evaluación cuantitativa de las propiedades fisicoquímicas del tratamiento del agua, apoyándose en fundamentos teóricos que respaldan ese proceso (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Como los resultados alcanzados tienen como objetivo resolver el problema de la sociedad, el estudio se consideró de nivel aplicativo. (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.1.3. DISEÑO

El diseño de estudio fue experimental. (Hernandez Sampieri, 2016)



Donde:

O1: Pre- evaluación del agua de lluvia

X: Uso de carbón activado

O2: Post- evaluación del agua de lluvia

Tabla 5*Matriz del Diseño Experimental*

Tratamiento		Composición
O1	Pre evaluación	Análisis fisicoquímico y microbiológico
x	Carbón activado	Según altura del filtro
O2	Post evaluación	Análisis fisicoquímico y microbiológico

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Es este caso, el estudio estuvo conformada por la cantidad de agua de lluvia que se generó en el área de influencia perteneciente a la localidad de Chullqui.

3.2.2. MUESTRA

Las muestras recolectadas fueron de 48 litros del agua de lluvia en la localidad de Chullqui, considerando 4 litros por filtro según altura de 216 mm y 262 mm. Fueron caracterizados previo a su tratamiento y posterior al tratamiento se volvieron a caracterizar (analizar en laboratorio).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La observación fue la técnica utilizada en esta investigación, mientras que las fichas de campo fueron el instrumento.

Para el muestreo de agua se usó:

El protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales para realizar el muestreo del agua. R.J. 010-2016 de ANA.

Preparación previa

Identificación de puntos de muestreo: se seleccionaron estratégicamente los sitios que mejor representen las condiciones del cuerpo de agua.

Equipo necesario: se preparó las botellas estériles de vidrio o plástico, recipientes para conservación, refrigeradores portátiles, medidores de pH, conductividad, oxígeno disuelto, entre otros. Se desinfectaron los equipos que estuvieron en contacto con la muestra.

Recolección de la muestra

Toma de muestras in situ: se realizó mediciones in situ de parámetros como pH, temperatura, ya que son sensibles a cambios durante el transporte.

Evitar contaminación: se colocó directamente la muestra en los recipientes estériles. Cerrar el recipiente para evitar que entre aire y otras partículas externas.

Preservación de la muestra

Refrigeración: se colocó las muestras inmediatamente en una nevera portátil con hielo o a 4 °C para evitar reacciones químicas o biológicas no deseadas.

Conservantes: Si es necesario, se añadió conservantes de acuerdo con el tipo de análisis que se realizará.

Transporte

Transporte adecuado: se aseguró de que las muestras se mantengan refrigeradas durante el traslado al laboratorio. El tiempo de transporte debe ser el mínimo posible para evitar alteraciones.

Registro y documentación

Se mantuvo un registro de todos los datos de la recolección: hora,

fecha, condiciones del lugar, parámetros medidos in situ, y cualquier otra observación relevante.

Este procedimiento garantizo que las muestras lleguen en óptimas condiciones para su análisis, preservando las características del agua tal como se encontraban en el momento de la toma.

Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

Ficha de análisis de laboratorio: Incluye las siguientes secciones: el título del estudio, información detallada acerca de cómo llenarlo (instrucciones), datos generales sobre el lugar de monitoreo (coordenadas, ubicación, nombre de la fuente, número de muestra y fecha y hora) y los hallazgos del laboratorio respecto al análisis microbiológico (coliformes totales, termorresistentes y bacterias heterotróficas), así como los resultados sobre la calidad del agua.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.4.1. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El siguiente esquema fue utilizado para recopilar la información:

3.4.2. RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN

La recolección de agua de lluvia se realizó mediante un sistema de captación conformado por canaletas de PVC que condujeron el agua hacia una bajante, desembocando finalmente en el tanque de almacenamiento de 60 litros de capacidad, fabricado en material plástico de grado alimenticio.

Para reducir la presencia de contaminantes gruesos como hojas, ramas, insectos y desechos de animales, una tela de gasa, que funcionó como un pre-filtro, se dispuso en la parte más alta del tanque. El agua

recolectada fue almacenada en condiciones controladas.

Posteriormente, se implementó los sistemas de filtración. Los filtros se fabricaron en vidrio de 42 mm de diámetro y 250 mm de longitud, lo que permitió obtener una relación largo/diámetro de 5,95. Además, en su interior se colocó carbón activado de cáscara de coco como medio filtrante, con dos configuraciones de altura: 216 mm y 262 mm, según el diseño experimental. Cada cubo fue sellado herméticamente para asegurar el flujo del agua únicamente a través del material adsorbente y posteriormente caracterizada en función de parámetros físicos, químicos y microbiológicos: pH, turbidez, color aparente, coliformes fecales, coliformes totales, dureza, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. Para el análisis se emplearon envases estériles de 1 litro, previamente enjuagados con agua destilada, y se siguieron los protocolos establecidos por la APHA (2017) y las NTP-ISO, garantizando la validez de los resultados.

3.4.2.1. SISTEMA DE FILTRACIÓN

En este caso, los filtros, fabricados en vidrio, tienen 250 mm de largo y 42 mm de diámetro, lo que da como resultado una relación longitud/diámetro (l/d) de 5.95. Cada uno de ellos incluyó que el material filtrante según altura 216 mm y 262 mm, para luego sellarlo herméticamente con la tapa. Para luego evaluar de nuevo los estándares de calidad que se mencionaron.

Tabla 6

Sistema de filtración

Filtro	Peso material kg	Densidad g/cm ³	Porosidad %	Caudal de Operación mL/min.
Carbón activado	0.210	1.96	30.8	0.25

3.4.3. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Elaboración de datos

- **Revisión de los datos:** Se comprobó la calidad de cada uno para asegurar que los resultados sean confiables y consistentes.
- **Codificación de los datos:** Los resultados adquiridos se convirtieron en códigos numéricos.
- **Procesamiento de los datos:** Se procesaron manualmente mediante la creación de una tabla matriz física, que luego se transformó en una base de datos virtual con el software Excel 2016. Finalmente, se llevó a cabo el procesamiento de los datos usando IBM SPSS Versión 25.0 para Windows.
- **Plan de tabulación de datos:** En base a los resultados obtenidos, se tabularon los datos en cuadros estadísticos.
- **Presentación de datos:** Se mostraron las cifras y tablas académicas con la información adquirida.

Análisis e interpretación de datos

- **Análisis descriptivo:** Se definieron las propiedades de cada variable según su tipo; Para lograr que el estímulo visual sea sencillo y destacado, se utilizaron figuras con el fin de facilitar y ayudar la comprensión.
- **Análisis inferencial:** se realizó el contraste de hipótesis a través de la prueba estadística paramétrica de T de Student, considerando el p-valor $< 0,05$.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. ANALISIS DESCRIPTIVO

Tabla 7

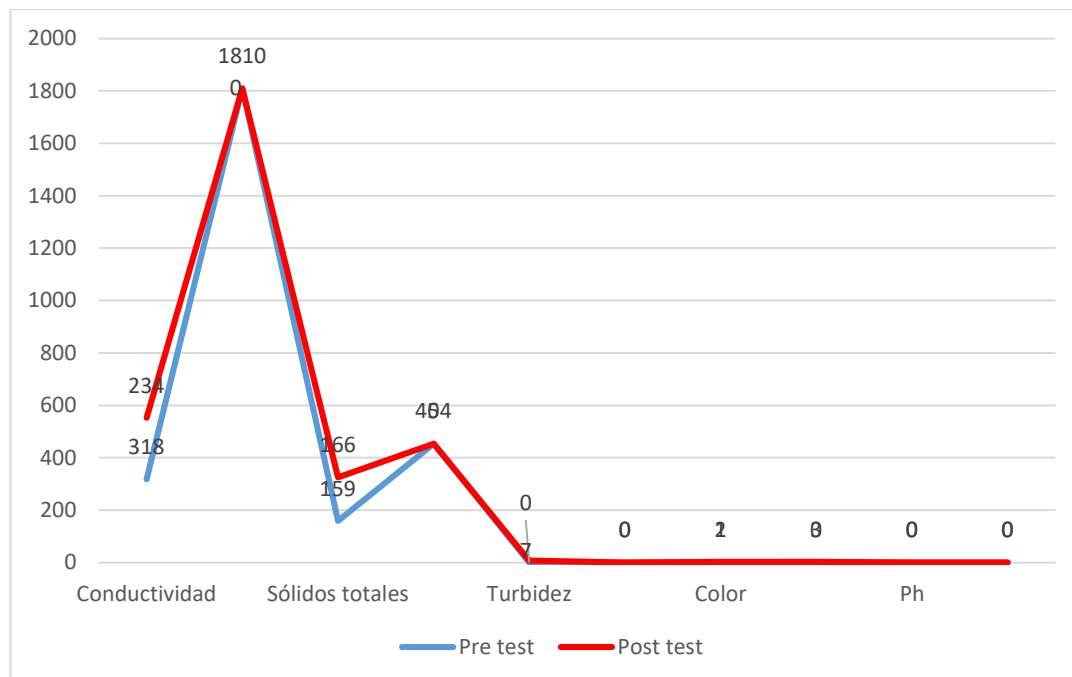
Características fisicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos.

Momentos	Conductividad		Sólidos totales		Turbidez		Color		Ph	
	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2
Pre test	318	1810	159	454	0	0	1	3	7,2	0,07
Post test	234		166		7		2		7,7	

Nota. Se observa una disminución en la conductividad eléctrica (de 318 a 234 $\mu\text{S/cm}$), lo que indica una menor concentración de sales disueltas tras el tratamiento. Los sólidos totales mostraron un ligero aumento (de 159 a 166 mg/L), mientras que la turbidez y el color incrementaron levemente, aunque dentro de rangos aceptables. El pH aumentó de 7.2 a 7.7, manteniéndose dentro del rango neutro. En general, los resultados evidencian cambios moderados en las propiedades fisicoquímicas del agua después del filtrado.

Figura 6

Características fisicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos



Nota. En la Figura 6 Se observa una disminución en la conductividad eléctrica (de 318 a 234 $\mu\text{S/cm}$), lo que indica una menor concentración de sales disueltas tras el tratamiento. Los sólidos totales mostraron un ligero aumento (de 159 a 166 mg/L), mientras que la turbidez y el color incrementaron levemente, aunque dentro de rangos aceptables. El pH aumentó de 7.2 a 7.7, manteniéndose dentro del rango neutro. En general, los resultados evidencian cambios moderados en las propiedades fisicoquímicas del agua después del filtrado

Tabla 8

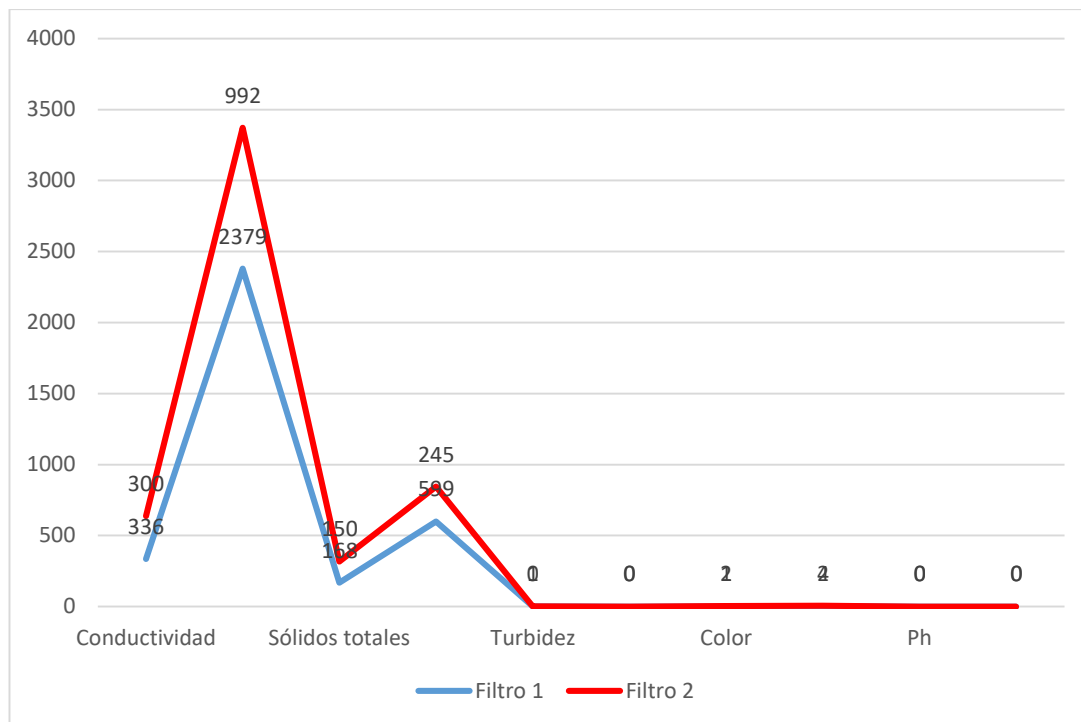
Características físicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros

Momentos	Conductividad		Sólidos totales		Turbidez		Color		Ph	
	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2
Filtro 1										
(216 mm)	336	2379	168	599	1	0	2	4	7,28	0,09
Filtro 2										
(262 mm)	300	992	150	245	0	0	1	2	7,13	0,07

Nota. En la Tabla 8 se aprecia que el filtro 1 (216 mm) presentó valores ligeramente mayores de conductividad (336 $\mu\text{S/cm}$) y sólidos totales (168 mg/L) en comparación con el filtro 2 (300 $\mu\text{S/cm}$ y 150 mg/L), lo que sugiere una menor eficiencia en la remoción de sales y sólidos disueltos. Por eso, en ambos filtros, la turbidez y el color fueron mínimos, indicando una buena clarificación del agua. El pH se mantuvo dentro del rango neutro (7.13–7.28), adecuado para el consumo. En conjunto, el filtro 2 mostró un mejor desempeño en la mejora de la calidad físicoquímica del agua.

Figura 7

Características físicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros



Nota. Referente a, la Figura 7 señala las características físicoquímicas del agua de lluvia tratada con carbón activado mediante dos filtros, observándose que el Filtro 1 presenta mejores resultados generales al reducir de manera más efectiva la conductividad (336 $\mu\text{S}/\text{cm}$), los sólidos totales disueltos (150 mg/L) y la turbidez (1.5 NTU), en comparación con el Filtro 2, que registra valores más altos en dichos parámetros (992 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 245 mg/L y 5.9 NTU, respectivamente). Los valores de color (2–4 unidades) y pH (≈ 7) se mantienen estables en ambos casos, indicando que el carbón activado no modifica significativamente estos parámetros. En conjunto, los resultados evidencian que el Filtro 1 es más eficiente en la mejora la calidad físicoquímica del agua pluvial para empleo en el hogar, al lograr una mayor reducción de las sales disueltas y de las partículas en suspensión.

Tabla 9

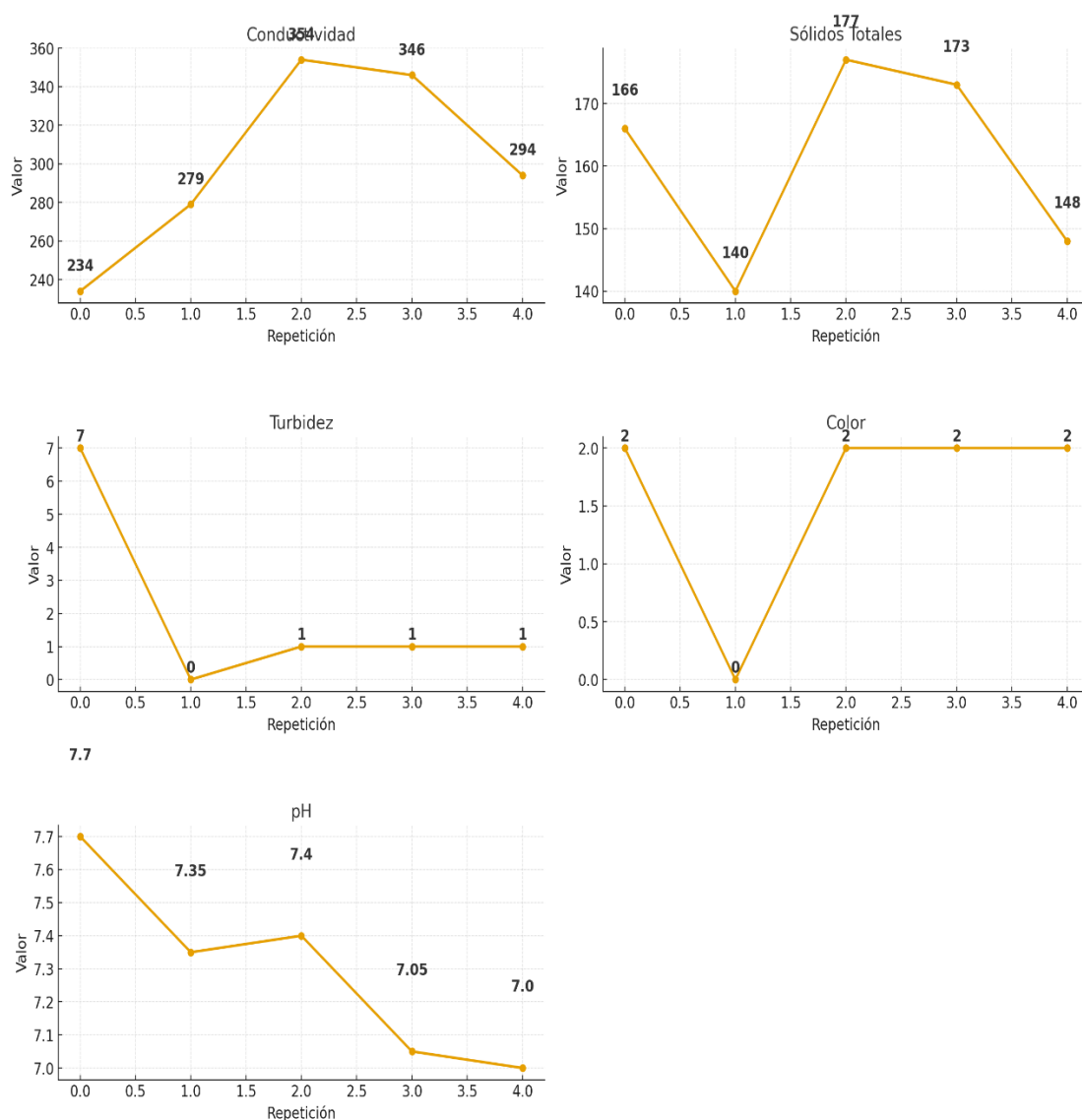
Características físicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones

Repeticiones	Conductividad		Sólidos Totales		Turbidez		Color		pH	
	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2
0	234		166		7		2		7,7	
1	279	50	140	13	0	0	0	0	7,35	0,04
2	354	200	177	50	1	1	2	8	7,4	0,18
3	346	3785	173	968	1	1	2	5	7,05	0,04
4	294	338	148	85	1	1	2	5	7,0	0,00

Nota. En la Tabla 9 Los valores muestran variaciones moderadas entre las repeticiones. La conductividad osciló entre 234 y 354 $\mu\text{S/cm}$, con mayor dispersión en la repetición 3 ($\sigma^2 = 3785$), lo que indica fluctuaciones en la concentración de sales disueltas. Los sólidos totales variaron entre 140 y 177 mg/L, manteniendo una tendencia estable. La turbidez y el color se mantuvieron bajos en todas las repeticiones, reflejando una buena calidad visual del agua. El pH se mantuvo dentro del rango neutro (7,0–7,7), apropiado para consumo. En conjunto, los resultados evidencian una ligera variabilidad entre repeticiones, pero una calidad físicoquímica del agua dentro de parámetros aceptables.

Figura 8

Características fisicoquímico del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones



Nota. En la Figura 8 se muestran las características fisicoquímicas del agua de lluvia tratada con carbón activado. Además, se observa que los valores de conductividad y sólidos totales se mantienen relativamente estables entre repeticiones, con ligeras variaciones que reflejan un tratamiento uniforme. En cambio, los parámetros de turbidez y, especialmente, color, presentan picos significativos en las repeticiones 3 y 4 (968 y 3785 unidades, respectivamente), lo que indica posibles diferencias en la eficiencia del filtrado o en las condiciones del agua tratada durante esas pruebas. Por su parte, el pH muestra valores constantes y cercanos a la neutralidad, evidenciando que el carbón activado no altera la acidez del agua.

Tabla 10

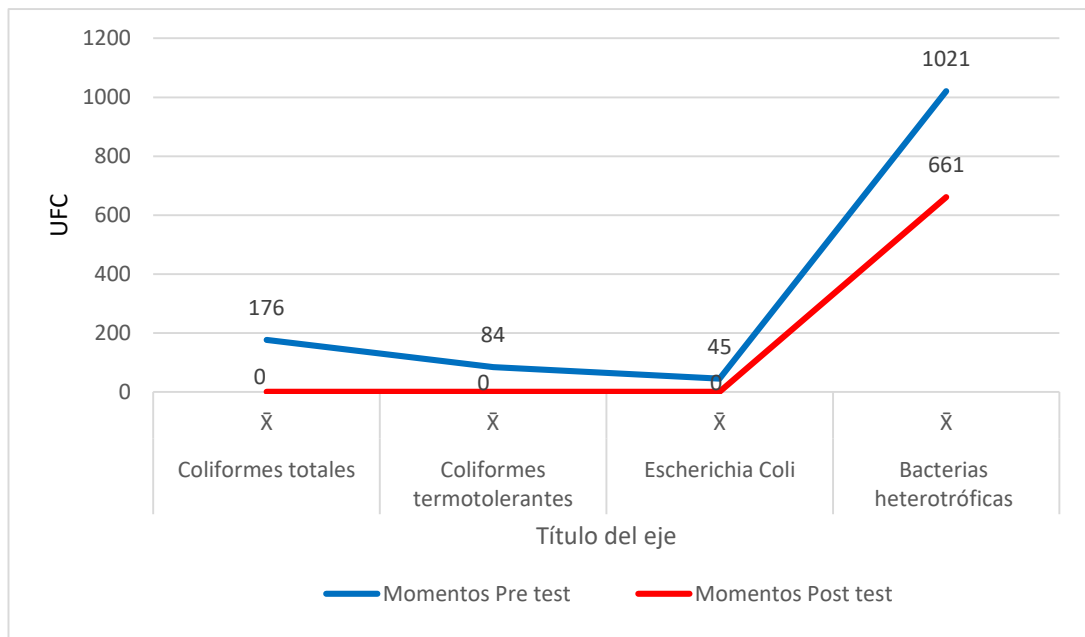
Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos

Momentos	Coliformes totales		Coliformes termotolerantes		Escherichia Coli		Bacterias heterotróficas	
	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2
Pre test	176	0	84	0	45	0	1021	0
Post test	0	0	0	0	0	0	661	1505

Nota. Los resultados obtenidos en la Tabla 10 evidencian que el tratamiento del agua de lluvia con carbón activado produjo una notable mejora en su calidad microbiológica, reflejada en la eliminación total de coliformes totales, coliformes termotolerantes y Escherichia coli, cuyos valores promedio y varianza pasaron de 176, 84 y 45 (con varianza cero) en el pre test a 0 en el post test. Esta reducción absoluta indica una alta efectividad del carbón activado en la remoción de microorganismos indicadores de contaminación fecal. En cuanto a las bacterias heterotróficas, se observó una disminución de 1021 a 661 UFC/ml; sin embargo, la presencia de una varianza elevada (1505) en el post test sugiere cierta variabilidad en la eficiencia del tratamiento, posiblemente atribuible a factores operativos o condiciones del medio filtrante. En conjunto, estos resultados respaldan la eficacia del carbón activado como una alternativa viable para mejorar la calidad microbiológica del agua de lluvia con fines domésticos.

Figura 9

Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según momentos



Nota. En la Figura 9 muestra que el tratamiento del agua de lluvia con carbón activado mejoró notablemente su calidad microbiológica, eliminando por completo Coliformes totales, termotolerantes y E. coli. También se redujeron las bacterias heterotróficas de 1021 a 661 UFC/ml, aunque con cierta variabilidad en los resultados. En general, se confirma la eficacia del carbón activado para optimizar la calidad microbiológica del agua de lluvia con fines domésticos.

Tabla 11

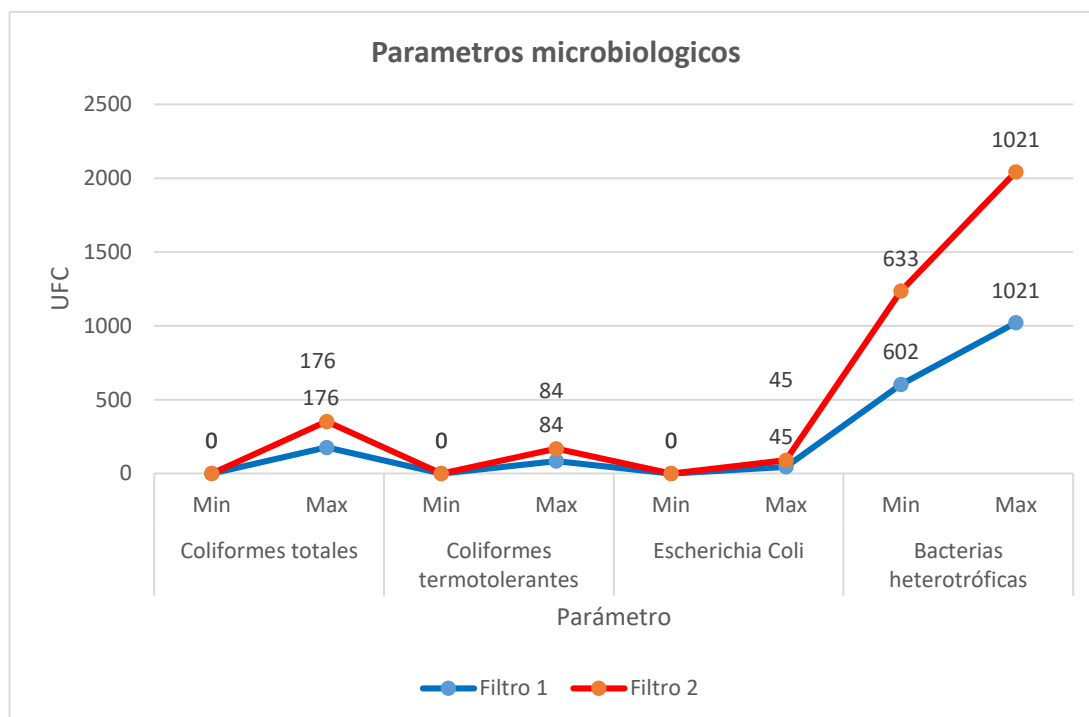
Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros

Filtros	Coliformes totales		Coliformes termotolerantes		Escherichia Coli		Bacterias heterotróficas	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Filtro 1 (216 mm)	0	176	0	84	0	45	602	1021
Filtro 2 (262 mm)	0	176	0	84	0	45	633	1021

Nota. En relación con, la Tabla 11 se muestran los intervalos de concentración de microorganismos según el tipo de filtro utilizado en el tratamiento del agua de lluvia con carbón activado. Se observa que tanto el Filtro 1 como el Filtro 2 lograron eliminar los coliformes totales, los coliformes termotolerantes y la Escherichia coli, ya que en las dos situaciones el mínimo fue 0, lo cual demuestra su efectividad para eliminar indicadores de contaminación fecal. No obstante, en el caso de las bacterias heterotróficas, aunque también se logró una reducción significativa, persistieron niveles variables tras el tratamiento, con valores mínimos de 602 y 633 UFC/ml, y máximos de 1021 UFC/ml para ambos filtros. Estas cifras reflejan que, si bien el carbón activado contribuye a disminuir la carga bacteriana general, su eficacia puede verse influida por características propias de cada filtro, como la porosidad, la saturación del material o el tiempo de contacto. En conjunto, ambos filtros demostraron un comportamiento similar en términos microbiológicos, con diferencias mínimas en la reducción de bacterias heterotróficas

Figura 10

Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según filtros



Nota. La Figura 10 muestra que ambos filtros con carbón activado eliminaron totalmente coliformes totales, termotolerantes y E. coli, confirmando su eficacia. En cuanto a las bacterias heterotróficas, aunque hubo una reducción importante, persistieron niveles variables (602–1021 UFC/ml), lo que sugiere que la eficacia depende de factores del filtro como porosidad o saturación. En general, ambos filtros presentaron un comportamiento microbiológico similar, con mínimas diferencias en la reducción de estas bacterias

Tabla 12

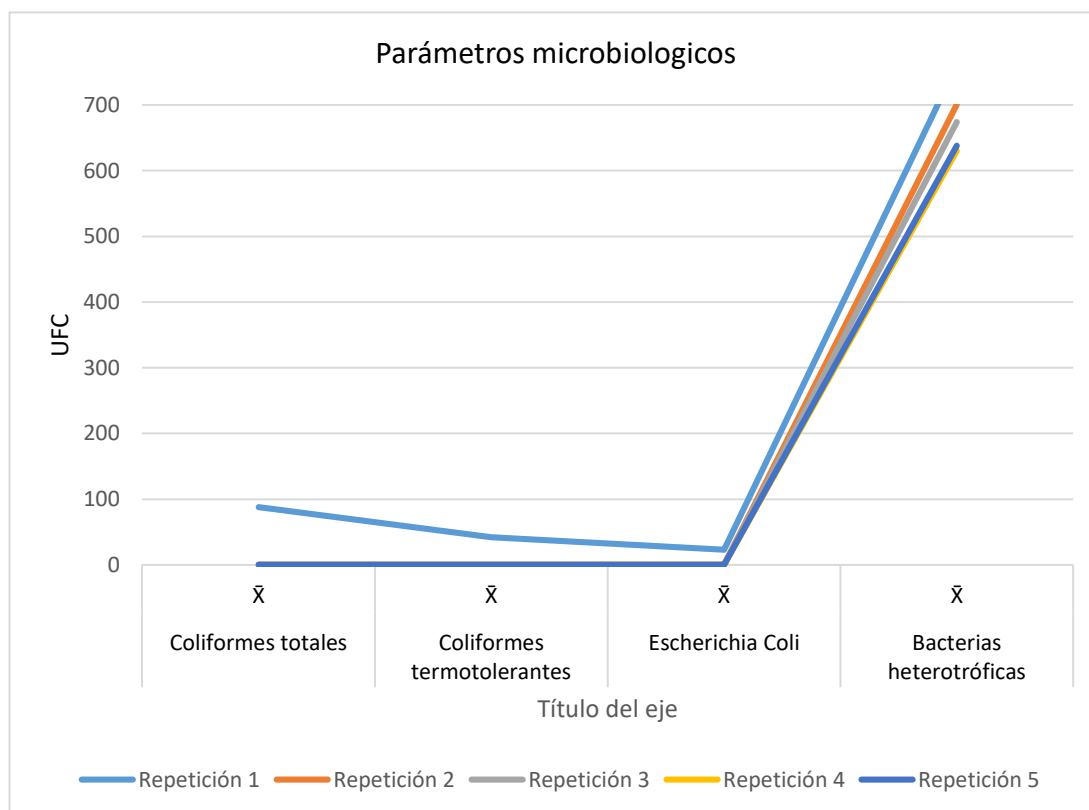
Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones

Repeticiones	Coliformes totales		Coliformes termotolerantes		Escherichia Coli		Bacterias heterotróficas	
	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2
0	88	10325	42	2352	23	675	761	90480
1	0	0	0	0	0	0	701	800
2	0	0	0	0	0	0	674	1625
3	0	0	0	0	0	0	630	1568
4	0	0	0	0	0	0	638	50

Nota. La Tabla 12 se presentan los valores promedio ($\bar{X}$) y varianza (σ^2) de los parámetros microbiológicos del agua de lluvia tratada con carbón activado, según el número de repeticiones del tratamiento. En la repetición 0 (sin tratamiento), se registraron valores elevados en todos los indicadores: coliformes totales (88), coliformes termotolerantes (42), Escherichia coli (23) y bacterias heterotróficas (761), con varianzas considerables, especialmente en coliformes totales (10325) y bacterias heterotróficas (90480). A partir de la primera repetición del tratamiento (repetición 1), los valores promedio de coliformes totales, coliformes termotolerantes y Escherichia coli fueron 0, con varianza también igual a 0 en todos los casos, lo que indica ausencia de estos microorganismos. En cuanto a las bacterias heterotróficas, sus valores promedio variaron entre 630 y 701 UFC/ml entre las repeticiones 1 y 4, con varianzas que oscilaron entre 50 y 1625.

Figura 11

Características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico según repeticiones



Nota. La Figura 11 muestra que, sin tratamiento, los indicadores microbiológicos presentaron valores elevados y gran variabilidad. Desde la primera repetición con carbón activado, los coliformes y E. coli desaparecieron por completo (media y varianza = 0). En cambio, las bacterias heterotróficas disminuyeron, pero mantuvieron valores entre 630 y 701 UFC/ml, con cierta variabilidad (50–1625).

Tabla 13*Resultados de la prueba de Normalidad (Shapiro–Wilk)*

Variable	Grupo	n	Estadístico W	p-valor
Conductividad	F1	4	0.9338	0.6171
Conductividad	F2	4	0.8945	0.4043
Sólidos Totales	F1	4	0.9393	0.6503
Sólidos Totales	F2	4	0.9001	0.4319
Turbiedad	F1	4	0.7286	0.0239
Turbiedad	F2	4	0.6298	0.0012
Color	F1	4	0.8274	0.1612
Color	F2	4	0.7286	0.0239
pH	F1	4	0.8652	0.2793
pH	F2	4	0.8869	0.3690

Nota. En cuanto a, la prueba de normalidad que se llevó a cabo sobre los parámetros físico-químicos de ambos filtros muestra que conductividad, sólidos totales y pH presentan valores de p-valor mayores a 0.05, por lo que sí siguen una distribución normal, indicando que sus variaciones entre repeticiones son consistentes y se ajustan al comportamiento esperado en procesos de filtración. En contraste, turbiedad (en F1 y F2) y color (en F2) presentan p-valor menores a 0.05, evidenciando que no cumplen normalidad, lo cual sugiere que estas variables muestran variabilidad irregular o presencia de valores atípicos asociados al proceso de filtración. En conjunto, los resultados indican que la mayoría de parámetros se comportan de forma estable y predecible, salvo turbiedad y algunos valores de color, que requieren análisis no paramétricos o un control más preciso durante el tratamiento del agua

Tabla 14

Comparación de media de las características microbiológicas del agua de lluvia tratado con carbón activado para uso doméstico

	prueba t para la igualdad de medias						
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
						Inferior	Superior
Características microbiológicas	12,562	8	,000	360,375	28,687	294,222	426,528
Conductividad	-1,864	8	0,105	-84,125	45,126	-190,832	22,582
Sólidos totales	0,299	8	0,774	6,750	22,605	-46,703	60,203
Turbidez	12,069	8	0,00	6,625	0,549	5,327	7,923
Color	0,403	8	0,699	0,750	1,859	-3,646	5,146
pH	1,730	8	0,127	0,5000	0,289	-0,183	1,1835

Nota. En la Tabla 14 los resultados de la prueba t indican diferencias significativas únicamente en las características microbiológicas ($t = 12,562$; $p < 0,001$) y en la turbidez ($t = 12,069$; $p < 0,001$), lo que evidencia una mejora significativa en estos parámetros tras el tratamiento. En cambio, la conductividad ($p = 0,105$), los sólidos totales ($p = 0,774$), el color ($p = 0,699$) y el pH ($p = 0,127$) no presentaron variaciones que fueran estadísticamente significativas ($p > 0,05$), lo que sugiere que estos parámetros se mantuvieron estables. En conjunto, el tratamiento aplicado generó cambios significativos en la calidad microbiológica y la claridad del agua.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El agua de lluvia, tal como se reporta en diversas investigaciones, presenta características fisicoquímicas y microbiológicas que no son aptas para el consumo humano sin tratamiento previo. Fandiño y Ospina (2020) observaron que el agua de lluvia recolectada en su estudio presentaba alta turbiedad y un significativo número de microorganismos patógenos, como *E. coli*, lo que indicaba una mala calidad para el consumo humano. Este hallazgo es consistente con los resultados logrados en dicho estudio, donde el agua de lluvia sin tratar también mostró altos niveles de turbidez, presencia de coliformes fecales y un pH ligeramente ácido, lo que la hacía inapropiada para su uso doméstico sin un tratamiento adecuado.

Los tratamientos con carbonos activados, especialmente de las cáscaras de cocos, ha sido ampliamente estudiado por su capacidad adsorbente para mejorar la calidad del agua. Fandiño y Ospina (2020) demostraron que el uso de carbón activado en su sistema de filtración permitió una remoción significativa de turbidez y microorganismo patógeno, preparando el agua para su consumo por humanos. Estos resultados son congruentes con lo observado en este estudio, donde el uso de los carbonos activados de cáscaras de cocos además mostró una notable reducción en la turbidez y una eliminación casi total de los coliformes fecales, lo que mejora la potabilidad del agua para uso doméstico.

Hernández y Chaparro (2020) también destacaron la eficacia del carbón activado en la reducción de contaminantes fisicoquímicos, como los cloruros, sulfatos y fosfatos, en su tratamiento del agua de lluvia. Además, los resultados de este estudio son semejantes, con una reducción efectiva de varios parámetros fisicoquímicos, como la turbidez y el color del agua. También, la comparación entre estos estudios resalta la efectividad del carbón activado, específicamente el de cáscara de coco, como un material filtrante de bajo costo y eficiente en la remoción de contaminantes.

En cuanto a la calidad microbiológica, Espinoza (2021) y Brignoli (2017) reportaron que el tratamiento con carbón activado permite una desinfección eficaz, eliminando microorganismos patógenos, incluyendo *E. coli* y otros coliformes. En el presente estudio, se observó una reducción significativa de los microorganismos presentes en el agua de lluvia tratada, cumpliendo con la norma de calidad para agua potable según los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). La capacidad del carbón activado de cáscara de coco para adsorber bacterias y otros contaminantes microbiológicos refuerza su efectividad como un material filtrante en sistemas de tratamiento de agua para consumo humano.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los antecedentes revisados, se determina que el carbón activado hecho de cáscara de coco es un material altamente efectivo para mejorar la calidad del agua de lluvia destinada a uso doméstico. Igualmente, este material no solo optimiza propiedades fisicoquímicas del agua, como el color y la turbidez y el pH, sino que también elimina efectivamente los contaminantes microbiológicos, lo que lo convierte en una opción viable para el tratamiento de agua de lluvia en áreas rurales o urbanas con acceso limitado a sistemas de potabilización convencionales.

Además, en concordancia con los estudios de Velásquez (2021) y Guevara (2018), que destacaron la importancia de sistemas de tratamientos simples y efectivos en zonas rurales, el uso de carbón activado de cáscara de coco puede ser una alternativa accesible y sostenible para mejorar la calidad del agua en comunidades que dependen del agua de lluvia para su consumo doméstico

CONCLUSIONES

Del presente estudio se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se evidencian que el tratamiento del agua de lluvia con carbón activado produjo una notable mejora en su calidad microbiológica, reflejada para la eliminación total de los coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, cuyos valores promedio y varianza pasaron de 176, 84 y 45 (con varianza cero) en el pre test a 0 en el post test. En cuanto a las bacterias heterotróficas, se observó una disminución de 1021 a 661 UFC/ml; sin embargo, la presencia de una varianza elevada (1505) en el post test sugiere cierta variabilidad en la eficiencia del tratamiento, posiblemente atribuible a factores operativos o condiciones del medio filtrante.
- Los rangos de concentración de microorganismos según el tipo de filtro utilizado en el tratamiento del agua de lluvia con carbón activado. Se observa que tanto el Filtro 1 como el Filtro 2 lograron eliminar completamente los coliformes termotolerantes, coliformes totales y *Escherichia coli*, ya que en ambos casos los valores mínimos fueron 0. No obstante, en el caso de las bacterias heterotróficas también se logró una reducción significativa, persistieron niveles variables tras el tratamiento, con valores mínimos de 602 y 633 UFC/ml, y máximos de 1021 UFC/ml para ambos filtros.
- Los parámetros microbiológicos del agua de lluvia tratada con carbón activado, según el número de repeticiones del tratamiento. En la repetición 0 (sin tratamiento), se registraron valores elevados en todos los indicadores: coliformes totales (88), coliformes termotolerantes (42), *Escherichia coli* (23) y bacterias heterotróficas (761), con varianzas considerables, especialmente en coliformes totales (10325) y bacterias heterotróficas (90480). A partir de la primera repetición del tratamiento (repetición 1), los valores promedio del coliforme total, coliforme termotolerante y *Escherichia coli* fueron 0. En cuanto a las bacterias

heterotróficas, sus valores promedio variaron entre 630 y 701 UFC/ml entre las repeticiones 1 y 4, con varianzas que oscilaron entre 50 y 1625.

- Finalmente, aplicado la prueba t para la igualdad de medias arrojó un valor de $t = 12,562$ con $gl = 8$ y un $p\text{-valor} = 0,000$, el cual es inferior al nivel de significación habitual ($\alpha = 0,05$). Esto señala que hay una diferencia significativa desde el punto de vista estadístico entre las medias de las propiedades microbiológicas del agua antes y después del tratamiento con carbón activado a partir de cáscara de coco.

RECOMENDACIONES

En base al estudio realizado se recomienda.

- Implementar sistemas domésticos de filtración con carbón activado de cáscara de coco, dado que el tratamiento con este material logró eliminar completamente los coliformes totales, termotolerantes y E. coli. Se recomienda fomentar la implementación de filtros caseros con carbón activado de cáscara de coco en zonas que dependen del agua de lluvia, especialmente en comunidades rurales o periurbanas sin acceso a sistemas convencionales de potabilización.
- Monitorear regularmente la calidad microbiológica del agua tratada. A pesar de la eficacia demostrada en la remoción de coliformes, la presencia variable de bacterias heterotróficas indica la necesidad de seguimiento constante. Se recomienda establecer protocolos de monitoreo microbiológico cada cierto periodo (mensual o trimestral) para garantizar la seguridad del agua consumida.
- Promover el uso del carbón activado de cáscara de coco como una solución sostenible y accesible. Debido a su bajo costo, disponibilidad y alta eficiencia, este material puede convertirse en una alternativa viable para mejorar la seguridad del agua en contextos vulnerables. Se recomienda su inclusión en programas de saneamiento básico y gestión comunitaria del agua, alineados con políticas públicas de salud ambiental.
- A fin de promover su adopción, se sugiere realizar estudios económicos que comparen el costo de implementación de estos filtros frente a otras tecnologías de tratamiento, considerando no solo el valor monetario, sino también los beneficios en salud pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, D. (2022). *¿Qué son los virus y cómo funcionan?*
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/436-que-son-los-virus-y-como-funcionan>
- Auge, M. (2007). *Agua fuente de vida. Universidad de Buenos Aires.*
<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf>
- Avelar Roblero, J. U., Sánchez Bravo, J. R., Domínguez Acevedo, A., Lobato de La Cruz, C., Mancilla Villa, O. R., Avelar Roblero, J. U., Sánchez Bravo, J. R., Domínguez Acevedo, A., Lobato de La Cruz, C., & Mancilla Villa, O. R. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. *Idesia (Arica)*, 37(1), 53-59. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000302>
- Avilés, D. M. H., & Chaparro, T. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 97-107. <https://doi.org/10.18359/rcin.4409>
- Brignoli, D. (2017). *Estudio de la calidad del agua de lluvia, para el consumo humano y productivo en Los Talas, partido de Berisso* [Universidad Nacional de la Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63762>
- CAC. (2013). *Principios para el establecimiento y la aplicación de criterios microbiológicos a los alimentos*. 7.
- Campos, M. C., Beltrán, M., Fuentes, N., & Moreno, G. (2018). Helminth eggs as parasitic indicators of fecal contamination in agricultural irrigation water, biosolids, soils and pastures. *Biomédica*, 38(1), 42-53. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>
- Canet, J. (2016). Escherichia Coli: Características, patogenicidad y prevención (I). *Blog sobre seguridad alimentaria.*
<https://www.betelgeux.es/blog/2016/01/19/escherichia-coli-caracteristicas-patogenicidad-y-prevencion-i/>
- Carpio Galvan, T. M. (2007). *Turbiedad por nefelometría (método b). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. 01, 9.
- Chavez Aparicio, E. A., & Mayhua Benavides, C. J. (2019). *Diseño de sistemas de reutilizaciones de aguas grises y aprovechamientos de aguas pluvial para el sistema de urbanismo de Pimentel – Chiclayo – Lambayeque*

- [Informe final, Universidad san Martín de Porres]. digital.
<https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6033>
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202016.%20Dise%C3%B1o%20de%20plantas%20potabilizadoras.pdf
- Cruz M, R., Arévalo M, H., Chamorro R, F., & Fernández V, F. (2005). Efecto del uso de un método artesanal para el tratamiento de agua en comunidades rurales de la región San Martín, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 22(2), 117-122.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-46342005000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Cuadra, J. (2018). *Importancia del agua para el planeta y el ser humano*. ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/importancia-del-agua-para-el-planeta-y-el-ser-humano-179.html>
- Díaz, L. C. F., & Rengifo, K. D. O. (s f.). *SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO EN UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA RURAL DE GIRARDOT CUNDINAMARCA* (p. 108) [Titulo de ingeniería ambiental].
- Díaz Ortiz, E. A. (2021). *Prototipo de sistema de potabilización del agua de lluvia en la comunidad nativa Yahuahua, Nieva, Condorcanqui, Amazonas. Perú 2018 – 2019* [Informe final, Universidad Nacional de Trujillo]. digital. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18722>
- DS N° 004-2017-MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* [Text]. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- DS N° 031-2010-SA. (2010). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. MINAM; digital. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

- Espinoza Vaca, Fr. A. (2021). *Análisis de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para la dotación en viviendas unifamiliares en la parroquia Atahualpa, Cantón Ambato, provincia de Tungurahua* [Informe final]. Universidad técnica de Ambato.
- Fandiño Díaz, L. C., & Ospina Rengifo, K. D. (2020). *Sistema de tratamiento de agua de lluvia para consumo humano en una institución educativa rural de Girardot Cundinamarca* [Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9473?show=full>
- FAO. (2016). *Agua limpia y saneamiento*. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Fernández Cirelli, A. (2012). *El agua: Un recurso esencial*. 11(3), 147-170.
- Flores Sotil, H. (2017). *Análisis de indicadores de contaminación bacteriológica (coliformes totales y termotolerantes) en el lago de Moronacocha* [Informe final, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/274/SOTIL-1-Trabajo-An%C3%A1lisis.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=%2DCaracter%20ADsticas%3A%20Los%20coliformes%20termotolerantes%20son,grado%20klebsiella%2C%20Enterobacter%20y%20Citrobacter>
- García, A. (2019). *Qué es la sedimentación del agua potable*. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-sedimentacion-del-agua-potable-1507.html>
- Gil, M. (2019). *Bacterias heterótrofas: Características y ejemplos de especies*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/bacterias-heterotrofas/>
- Guevara Díaz, Y. G. (2018). *Sistema de captación de agua pluvial para abastecer el consumo familiar de agua potable, distrito de Moyobamba – 2018* [Informe final, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3916>
- Hernández Avilés, D. M., & Chaparro, T. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 97-107. <https://doi.org/10.18359/rcin.4409>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw Hill Interamericana.

- INEI. (2020). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*. instituto nacional de estadística e informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2022). *Huevos de helminto como indicadores de contaminación*. gob.mx. <http://www.gob.mx/imta/articulos/huevos-de-helminto-como-indicadores-de-contaminacion>
- Marchand Pajares, E. O. (2020). *Microorganismos indicadores de la calidad de agua de consumo humano en Lima Metropolitana ante*. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/basic/marchand_p_e/anted.htm
- Ministerio de sanidad. (2022). *Agua de consumo humano*. <https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/calidadAguas/consumoHumano.htm>
- Oblitas de Ruiz, L. (2020). *Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú: Beneficios potenciales y determinantes de éxito*. 73.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico*. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp%20sam_files/publicaciones/variociclo_hidrologico.pdf
- Organización de las naciones unidas para las alimentaciones y las agriculturas (2013). *Capacitaciones y almacenamientos de aguas de lluvias opcion tecnica para las agriculturas familiares en Americas Latinas y el caribe*. 272.
- Organización mundial de la salud. (2018). *E. coli*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- Osorio, U. (2022). *Qué es el ciclo hidrológico: Etapas e importancia - Resumen y VIDEO*. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-ciclo-hidrologico-etapas-e-importancia-3832.html](https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-ciclo-hidrologico-etapas-e-importancia-3832.html)
- Pérez Hernández, A., Palacios Vélez, O. L., Anaya Garduño, M., Tovar Salinas, J. L., Pérez Hernández, A., Palacios Vélez, O. L., Anaya Garduño, M., & Tovar Salinas, J. L. (2017). *Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca*.

- Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1427-1432.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342017000601427&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Perez, J. (2020). *Definición de coliformes*. Definición.de.
<https://definicion.de/coliformes/>
- Perez, J., & Gardey, A. (2020). *Definición de pluvial*—Definicion.de. Definición.de. <https://definicion.de/pluvial/>
- Perez, J., & Merino, M. (2022). *Definición de precipitación*. Definición.de. <https://definicion.de/precipitacion/>
- Porto, J. (2022). *Definición de agua*. Definicion. <https://definicion.de/agua/>
- Ramos Ortega, L. M., Vidal, L. A., Vilardy, S., & Saavedra Díaz, L. (2008). *Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de santa marta, caribe colombiano*. 13(3), 87-98.
- Roldan, L. (2019). *Cómo se POTABILIZA el AGUA - Técnicas y Proceso*. ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/como-se-potabiliza-el-agua-2189.html>
- Romero Rojas, J. A. (2000). *Purificacion del agua*. Escuela Colombiana de Ingenier??a. <https://www.worldcat.org/title/purificacion-del-agua/oclc/65187077>
- Romero Torres, P. (2021). *Análisis de la calidad de agua y diseño de un sistema de tratamiento de agua para consumo humano en la localidad de Puerto RICO, provincia de Tocache—2021* [Informe final, Universidad de Huánuco]. digital. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3109>
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2010). *Guía de buenas prácticas agua potable, diversidad biológica y desarrollo*. digital. <https://www.cbd.int/development/doc/cbd-good-practice-guide-water-booklet-web-es.pdf>
- SEMARNAT. (2022). *Informe de la situacion del medio ambiente en Mexico* (p. 2). Estados Unidos Mexicanos; digital. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_1.html
- Sigler, A., & Bauder, J. (2012). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales*. 1. digital.

- Solís Castro, Y., Zúñiga Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Swistock, B. (2022). *Bacterias Coliformes*. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- Symborg. (2022). Microorganismos de vida libre y Protección de suelos. *Symborg*. <https://symborg.com/es/proteccion-suelos/microorganismos-de-vida-libre-que-son-y-como-benefician-a-la-planta/>
- Vasquez Contreras, E., & Rojas Perez, T. (2016). *PH: Teoría y 232 problemas* [Informe final, Universidad Autonoma Metropolitana]. <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>
- Velasquez Cruz, J. M. (2021). *Sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia por canaletas en coberturas impermeables de viviendas rurales en el centro poblado de Inchupalla* [Informe final, Universidad Nacional del Altiplano]. digital. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/15337>
- Vera, C., & Camillon, I. (2011). *Introducción. El ciclo sin fin del agua |Balance de agua global | Evaporación, la atmósfera se humedece*. 16.
- Wisbeck, E., Sandri, E. K., Soares, A. L. M., & Medeiros, S. H. W. (2011). Disinfection of rainwater by ultraviolet radiation. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 16(4), 337-342. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000400004>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Zambrano Cayetano, M. (2026). *Eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Proyecto de tesis: Eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Metodología	Técnicas y procedimientos
Problema general ¿Cuál es la eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico?	Objetivo general Evaluar la eficacia adsorbente del carbón activado de cáscara de coco en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico.	Hi: El carbón activado de cáscara de coco es eficaz en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico.	Variable Independiente Tratamiento del agua de lluvia	TIPO DE ESTUDIO experimental, longitudinal Enfoque: cuantitativo Alcance o nivel: aplicativo Diseño: En el presente estudio se utilizó como diseño de estudio el experimental. O1 → X → O2 O1: Agua de lluvia X: sistema de filtración. O2: Agua apta para Consumo Humano. Población La población de la presente investigación estará conformada por la cantidad de agua de lluvia que se genere en el área de influencia perteneciente a la localidad de Chullqui. Muestra	Técnicas e instrumentos de recolección de datos En el presente estudio se usará como técnica la observación y como instrumento las fichas de campo. Para el muestreo de agua se usará: - Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los
Problemas específicos - ¿Cuáles son las características microbiológico del agua de lluvia tratado con antracita para fines de consumo humano? - ¿Cuáles son las características	Objetivos específicos - Analizar las características microbiológico del agua de lluvia tratado con antracita para fines de consumo humano. - Conocer las características microbiológico del	Ho: El carbón activado de cáscara de	Variable de caracterización Agua para consumo humano		

microbiológico del agua de lluvia tratado con carbón activado para fines de consumo?	coco no es eficaz en el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico.	Las muestras recolectadas en dos etapas del agua de lluvia en la localidad de Chullqui con un intervalo aproximado de 15 días en dos sectores distintos luego esas dos muestras serán caracterizados previo a su tratamiento y posterior al tratamiento se volverán a caracterizar (analizar en laboratorio) una vez filtrados por los 4 filtros propuestos, por lo tanto, se evaluarán 10 muestras de agua de lluvia.	recursos hídricos superficiales R.J. 010-2016 ANA. - Reglament o de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.
--	---	--	--

ANEXO 2

EVIDENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN

GUIA DE ANALISIS DE FICHA DOCUMENTAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO DOMESTICO

Código:.....

2.1. DATOS GENERALES DEL INVESTIGADOR

Nombre del investigador:.....

2.2. DATOS GENERALES SOBRE PUNTO DE MONITOREO

Ubicación del punto de monitoreo	
Departamento:	Punto de muestreo:
Provincia:	Finalidad del monitoreo:
Distrito:	Número de muestra:
Localidad:	Fecha y Hora de muestreo:
Nombre del cuerpo de agua:	Fecha y Hora de llegada a laboratorio:
Clasificación del cuerpo de agua:	Preservada:

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas: Proyección UTM

Geográficas

Latitud:	Zona:
Este/longitud:	Altitud:

Resultado Análisis Microbiológico del agua:

Análisis Microbiológico del Agua.	Resultado
Coliformes totales UFC/100MI	
Coliformes totales UFC/100MI	
Bacterias heterotróficas UFC/100MI	

Calificación del Agua de consumo doméstico:.....

CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA



ARMADO DE LOS FILTROS



ARMADO DE LOS FILTROS



ARMADO DE LOS FILTROS



ARMADO DE LOS FILTROS



CARBON DE COCO, ARENA FINA, GRABA Y PIEDRA CHANCADA









PERÚ
Ministerio
de Salud

Dirección Regional de
Salud Huanuco

Laboratorio
Referencial
Regional Salud



LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE AGUAS

REG.: 159 - 2025- L.M.A.-LRRSP- HCO

SOLICITANTE : CAYETANO MELISSA MILAGROS
DISTRITO : CHURUBAMBA
PROVINCIA : HUANUCO
DEPARTAMENTO : HUANUCO

FECHA DE MUESTREO: 01 - 10 - 25 HCRA 7:17 a.m. FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 01 - 10 - 25 HORA: 15:00 pm MUESTRA TOMADA: INTERESADO
MUESTRA PRESERVADA SI (X) NO ()

RESULTADOS

MICROREDES Y ESTABLECIMIENTOS	PUNTOS DE MUESTREO	FUENTE	Nº. DE MUESTRA	ENSAYOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS						ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS			
				Cond. (umho/cm)	Sol. T. mg/l	Turb. UNT	Color UCV	pH	Cl	Coli. T. UFC/100ml	Coli. Tem. UFC/100ml	E.coli UFC/100ml	Bact. Heterot. UFC/ml
RESULTADO F1-1	RESERVORIO	LLUVIA	216	284	142	0	0	7,2	0	0	0	0	0
RESULTADO F1-2	RESERVORIO	LLUVIA	217	364	182	1	4	7,7	0	0	0	0	0
RESULTADO F1-3	RESERVORIO	LLUVIA	218	389	195	0	0	7,2	0	0	0	0	0
RESULTADO F1-4	RESERVORIO	LLUVIA	219	307	154	1	3	7,0	0	0	0	0	0
RESULTADO F2-1	RESERVORIO	LLUVIA	220	274	137	0	0	7,5	0	0	0	0	0
RESULTADO F2-2	RESERVORIO	LLUVIA	221	344	172	0	0	7,1	0	0	0	0	0
RESULTADO F2-3	RESERVORIO	LLUVIA	222	302	151	1	3	6,9	0	0	0	0	0
RESULTADO F2-4	RESERVORIO	LLUVIA	223	281	141	0	0	7,0	0	0	0	0	0
RESULTADO F0-0	RESERVORIO	LLUVIA	224	234	166	7	2	7,7	0	176	84	45	1021
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES RM 031-2010 (LMP)				500	1000	5	15	6,5-8,5	0,5	0	0	0	500

MUESTRA AGOTADA EN LOS ENSAYOS.

Microorganismo	Método de Ensayo
Coliforme Total	Método Estandarizado de Filtro de Membrana APHA, AWW, WEF. Part. 9222 D. 21 th edition 2005.
Coliforme Fecal	Método Estandarizado de Filtro de Membrana APHA, AWW, WEF. Part. 9222 D. 21 th edition 2005.
Escherichia coli	Método de Filtro de Membrana ISO 9308-1:2014 y la ISO 11133:2014.
Bacteria Heterotróficas	Método de placa fluida. APHA AWWA WEF. Part 9215 B. 21th Ed. 2005.

Huanuco, 12 de octubre de 2025

Jr. Dámaso Beraún N° 1017 ☎ (062) 513410-513380-517521 Fax (062) 513261

GOBIERNO REGIONAL HUANUCO
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD HUANUCO
LABORATORIO REFERENCIAL REGIONAL

Berta Milagros Melissas Milagros
CD 14543
Puesto: Puesto de Microbiología de Aguas y Alimentos