UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFECTO DE LA FILTRACIÓN Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR CELENDÍN - CAJAMARCA”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

JHON ALEXANDRO SORIANO CHÁVEZ

ASESOR:

Ing. M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

CAJAMARCA – PERÚ

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Nueva Era de la Universidad Peruana"

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
   JHON ALEXANDRO SORIANO CHÁVEZ
   DNI N° 74409380
   Escuela Profesional/Unidad UNC:
   DE INGENIERÍA AMBIENTAL
2. Asesor:
   Ing. M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
   Facultad/Unidad UNC:
   FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado Académico o título profesional:
   ☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
   ☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de investigación:
   ☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
   ☐ Trabajo académico
5. Título del trabajo de investigación:
   EFECTO DE LA FILTRACIÓN Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR CELENDÍN - CAJAMARCA
6. Fecha de evaluación: 15/12/2024
7. Software antiplagio: ☒ **TURNITIN** ☐ **URKUND (ORIGINAL) (*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **12%**
9. Código documento:
10. Resultado de la evaluación de Similitud:
    ☒ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha de Emisión: 01/07/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia

.....

Ing. M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
DNI: 40432609

*En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los doce del mes de junio del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **aula 101** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 026-2025-FCA-UNC, de fecha 13 de enero del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO DE LA FILTRACIÓN Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR CELENDIN - CAJAMARCA"**, realizada por el Bachiller **JHON ALEXANDRO SORIANO CHÁVEZ** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL.**

A las **QUINCE** horas con **ONCE** minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con calificativo de **DIECISEIS (16)** por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECISEIS** horas y **CERO** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
PRESIDENTE

ING° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL

Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
ASESOR

COPYRIGHT ©2025 by

JHON ALEXANDRO SORIANO CHÁVEZ

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mis padres, Amancio Soriano y Maximina Chávez, por su constante apoyo y empoderamiento, permitiéndome alcanzar mis metas y superar cada desafío.

AGRADECIMINETO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por brindarme la oportunidad de seguir creciendo y superando desafíos en este camino.

A mis padres, Amancio Soriano y Maximina Chávez, quienes han sido una fuente inagotable de apoyo y fortaleza. Sin su amor y sacrificio, nada de esto sería posible.

A mi asesora de tesis, Giovana Chávez, por su guía, paciencia y dedicación en este proceso. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

A los docentes y amigos que han sido parte de este viaje, aportando su tiempo, conocimientos y amistad. Su contribución ha sido invaluable y siempre la llevaré en mi corazón.

A todos, gracias por ser parte de esta etapa de mi vida y por ayudarme a alcanzar mis objetivos en el ámbito académico y profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA III

AGRADECIMINETO IV

ÍNDICE GENERAL V

ÍNDICE DE FIGURAS VIII

ÍNDICE DE TABLAS IX

RESUMEN X

ABSTRACT XI

CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO II 4

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 4

2.1. Antecedentes de investigación 4

2.2. Bases teóricas 10

2.2.1. Desinfección de las aguas residuales 10

2.2.2. Características biológicas del agua. 10

2.2.3. Filtración de Agua 16

2.2.4. Radiación ultravioleta 22

2.2.5. Parámetros de control 30

2.3. Definición de términos básicos 31

2.3.1. Desinfección 31

2.3.2. Radiación ultravioleta *32*

2.3.3. Filtración..... *32*

2.3.4. Caudal..... *32*

CAPÍTULO III..... 33

MATERIALES Y MÉTODOS..... 33

3.1. Localización de la investigación 33

3.1.1. Coordenadas geográficas *33*

3.2. Material experimental..... 33

3.2.1. Materiales *35*

3.2.2. Equipos..... *35*

3.3. Factor y variable independiente, niveles y tratamientos en estudio..... 35

3.4. Diseño completamente al azar (DCA)..... 36

3.5. Arreglo factorial 3x2 del experimento 37

3.6. Descripción del sistema de desinfección 39

3.6.1. Tanque de distribución *39*

3.6.2. Filtros..... *39*

3.7. Evaluaciones (Variable dependiente)..... 48

3.7.1. Puntos de monitoreo..... *48*

3.7.2. Parámetros evaluados *48*

3.8. Análisis de datos 49

3.8.1. Cálculo de la observación 1 "Eficiencia de la desinfección del efluente de la PTAR" Celendín..... *49*

3.8.2. Filtración y radiación *50*

3.8.3. Análisis de la varianza ANOVA *51*

CAPÍTULO IV 52

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52

4.1. Eficiencia de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección 52

4.1.1. ANOVA para la eficiencia de remoción de Coliformes Totales *54*

4.1.2. ANOVA para la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes *58*

4.2. Efectos de la filtración en la turbidez, OD, pH y Conductividad 61

4.3. Cumplimiento del efluente con el LMP para uso en riego de vegetales 62

CAPÍTULO V 65

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65

5.1. Conclusiones 65

5.2. Recomendaciones 66

Capítulo VI 67

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

CAPÍTULO VII 76

Anexos 76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Movimiento durante el transporte de las partículas 17

Figura 2 Fuerzas electrostáticas entre la partícula y la fibra 19

Figura 3 Espectro electromagnético. 25

Figura 4 Mapa de ubicación de la zona de estudio 34

Figura 5 Instalación del tanque de distribución 39

Figura 6 Filtro para sedimentos 40

Figura 7 Filtro para carbón activado. 40

Figura 8 Cámara de radiación UV. 41

Figura 9 Componentes de la cámara de radiación UV 42

Figura 10 Instalación de la electrobomba de 0.5 HP 44

Figura 11 Plano del experimento en planta 46

Figura 12 Sistema de desinfección instalado en el efluente de la PTAR Celendín 47

Figura 13 Eficiencia de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección del efluente de la PTAR Celendín. 53

Figura 14 Gráfica de dispersión de coliformes totales. 57

Figura 15 Gráfica de dispersión de coliformes termotolerantes 60

Figura 16 Turbidez vs con filtro y sin filtro. 61

Figura 17 Comparación del promedio de las repeticiones de cada tratamiento en coliformes totales con los LMP de la Agencia de protección Ambiental EPA. 62

Figura 18 Comparación del promedio de las repeticiones de cada tratamiento en coliformes termotolerantes con los LMP y ECA para el riego de vegetales. 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores y variables independientes 35

Tabla 2 Asignación aleatoria de unidades experimentales en el diseño completamente al azar (DCA) del presente estudio. 36

Tabla 3 Diseño factorial 3x2 del experimento 37

Tabla 4 Arreglo de tratamientos, niveles de factores y repeticiones en el diseño factorial 3 × 2 38

Tabla 5 Estimación de la dosis de radiación UV y tiempo de retención hidráulica según caudal aplicado 42

Tabla 6 Evaluaciones realizadas por día 48

Tabla 7 Formulaciones para el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) 51

Tabla 8 Formulaciones para el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) con arreglo factorial de 3x2 51

Tabla 9 Eficiencia de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección del efluente de la PTAR Celendín. 52

Tabla 10 Datos base utilizados para el análisis de varianza (ANOVA) de la desinfección de coliformes totales (%) según caudal, tipo de filtro y repeticiones. 55

Tabla 11 Análisis de varianza ANOVA para coliformes totales 55

Tabla 12 Regresión lineal 57

Tabla 13 Datos base utilizados para el análisis de varianza (ANOVA) de desinfección de coliformes termotolerantes (%) según caudal, tipo de filtro y repeticiones. 58

Tabla 14 Análisis de varianza ANOVA para coliformes termotolerantes 58

Tabla 15 Regresión lineal. 59

Tabla 16 Valores de temperatura, Oxigeno Disuelto, pH y conductividad en los tratamientos... 61

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Celendín, Cajamarca; este estudio es de naturaleza cuantitativa y experimental, se empleó un diseño factorial de tres por dos, considerando caudales de 1.8, 2.6 y 4 L/min y una dosis calculada de dosis de radiación ultravioleta de 1332.51, 922.50 y 599.63 mJ/cm², tanto con filtro y sin filtro, acumulando un total de 6 tratamientos, con 24 unidades experimentales; los parámetros evaluados incluyeron coliformes totales y coliformes termotolerantes; el tratamiento más eficiente se observó con un caudal de 1.8 L/min, empleando filtración y radiación UV (1332.51 mJ/cm²), logrando una desinfección del 99.950 % en coliformes totales y del 99.987% en coliformes termotolerantes; cumpliéndose con los límites máximos permisibles establecidos para efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas municipales según el DS 003-2010 MINAM (10000 NMP/100 ml), así como los Estándares de Calidad del Agua N°004 – 2017 - MINAM de categoría 3 para el riego de vegetales y bebida de animales (1000 NMP/100 ml), no obstante, no se alcanzaron los LMP para coliformes totales establecidos por EPA; en conclusión, tanto la filtración como la radiación UV en diferentes caudales demostraron una influencia significativa en la desinfección del efluente de la PTAR de Celendín.

Palabras clave. Desinfección, Filtración, Radiación ultravioleta, Coliformes y Sistema.

ABSTRACT

The effect of filtration and ultraviolet (UV) radiation on the disinfection of the effluent from the Celendín Wastewater Treatment Plant (WWTP) in Cajamarca was evaluated. This study, of a quantitative and experimental nature, employed a 3x2 factorial design, considering flow rates of 1.8, 2.6, and 4 L/min, and calculated UV radiation doses of 1332.51, 922.50, and 599.63 mJ/cm², both with and without filtration, resulting in a total of six treatments and 24 experimental units. The evaluated parameters included total coliforms and thermotolerant coliforms. The most efficient treatment was observed at a flow rate of 1.8 L/min, using both filtration and UV radiation (1332.51 mJ/cm²), achieving a disinfection efficiency of 99.950% for total coliforms and 99.987% for thermotolerant coliforms. These results comply with the Maximum Permissible Limits (MPLs) established for effluents from municipal domestic wastewater treatment plants according to Supreme Decree DS 003-2010 MINAM (10,000 MPN/100 mL), as well as the Water Quality Standards No. 004-2017-MINAM, Category 3, for irrigation of vegetables and animal drinking water (1,000 MPN/100 mL). However, the MPLs for total coliforms established by the EPA were not met. In conclusion, both filtration and UV radiation at different flow rates demonstrated a significant influence on the disinfection of the effluent from the Celendín WWTP.

Keywords. Disinfection, Filtration, Ultraviolet Radiation, Coliforms and System.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe una gran perspectiva por las consecuencias de las aguas residuales en la salud de las generaciones futuras, sin embargo, existen oportunidades para la reutilización y reciclaje de las aguas residuales, enfrentando enormes desafíos. El crecimiento poblacional, los cambios en las costumbres, prácticas familiares, los nuevos asentamientos implicará un reto cada vez mayor para el tratamiento de las aguas, a esto se suma el impacto de los eventos extremos y el cambio climático.

Para el año 2030 se prevé que la demanda global de energía y agua incremente un 40% y 50%, respectivamente; dicho crecimiento se dará sobre todo en las ciudades, lo cual se será necesario desarrollar nuevos métodos para la gestión integral de aguas residuales. Así mismo, la gestión de aguas residuales tiene el potencial de ofrecer a diversos desafíos, como la producción de alimentos y el impulso desarrollo industrial (Alabaster et al., 2017).

La descarga directa de aguas residuales en los cuerpos receptores, tales como ríos, lagos, quebradas secas o mar, es uno de los principales factores de contaminación no solo de los diversos ecosistemas existentes, sino también de nuestras actuales fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, lo que amenaza la sostenibilidad del recurso y pone en peligro la salud de la población.

El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín es el resultado de una serie de tratamientos, conformado por un sistema de rejas o desarenadores, dos reactores de flujo ascendente (RAFA) en paralelo y una laguna de oxidación o de estabilización, y luego ser vertido al río Grande de la ciudad de Celendín, sin embargo, según

un estudio realizado por Briones García (2019) en dicho efluente llegó a determinar concentraciones de coliformes totales en NMP/100 mL, un valor de $3.5x10^5$ a $3.5x10^7$ superando al límite máximo permisible de la Agencia de Protección Ambiental (Washington State) donde establece un valor máximo de 240 NMP/100 ml, por otro lado, para coliformes fecales en el efluente los valores se encuentran entre $1.7x10^5$ a $3.5x10^7$ en NMP/100 mL superando los límites máximos permisibles establecidos en el decreto supremo N.º 003-2010-MINAM, donde se establece un valor de 10^4, asimismo, supera el valor de 1000 NMPL/100 mL de categoría 3 para el riego de vegetales del estándar de calidad ambiental nacional, establecidos en el decreto supremo 004 – 2017 MINAM.

El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín viene siendo utilizado para el riego de pastizales, cultivos consumibles de tallo alto o bajo, lo que hace que estos tengan una alta concentración de agentes infecciosos como coliformes totales, termo tolerantes, fecales, entre otros. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental EPA (1999) estas contraen diversas enfermedades relacionadas con gastroenteritis, fiebre tifoidea, salmonelosis, disentería bacilar, ascariasis, infecciones de vías urinarias, bacteriemia, meningitis, diarrea aguda, acuosa, profusa y hepatitis de tipo infeccioso que afectan gravemente a las personas o animales que se ven expuestos.

El objetivo general de esta investigación es evaluar el efecto de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Celendín, así como objetivos específicos, se propone determinar la concentración de coliformes totales y termotolerantes del afluente y efluente de los procesos de filtración y radiación UV; calcular el porcentaje de remoción de la turbidez en el efluente del proceso de filtración; y determinar el cumplimiento de los límites máximos permisibles en el efluente de los procesos de filtración y radiación UV para el reúso en la agricultura, bajo la normativa nacional e internacional.

En el presente estudio, haciendo uso del efluente citado se instala un sistema de desinfección por radiación ultravioleta, pasado por un proceso de filtrado y otro sin filtrado, haciendo la comparación a diferentes caudales, donde se determina el porcentaje de remoción de coliformes totales y termotolerantes, de esta manera evaluar el efecto de los dos factores en la desinfección por radiación ultravioleta en dicho efluente de la PTAR de Celendín.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de investigación

De acuerdo con López Torres (2017) en su investigación realizó el tratamiento de agua para el consumo humano con radiación UV, para la inactivación de Coliformes, el cual se evidenció la efectividad del uso de la radiación UV con un equipo de marca polaris scientific UV de 2 galones por minuto con 254 nanómetros previo a una filtración de retención y de carbón activado, tras la toma de muestras durante cinco días seguidos a las 12:00 del mediodía se pudo realizar los ensayos en las muestras contaminadas y tratadas, frente a los resultados obtenidos se entiende mejor el comportamiento de los coliformes en el agua sin tratar, las muestras resultantes se ven libres de coliformes, aptas para el consumo, ya que cumple con los parámetros de la norma NTE INEN 1 108:2006 en cuanto a la cantidad de coliformes, también se evidenció que si no hay una buena sedimentación del agua, la efectividad de este método baja, puesto que la presencia de sedimentos da lugar a que los microorganismos no sean expuestos a la radiación para lo cual se necesita emplear filtros de retención de menor diámetro (p. XIII).

También Tapia y Vargas (2021) han realizado el estudio de la eficiencia de inactivación y reactivación mediante radiación ultravioleta en bacterias *Escherichia coli y Enterococcus sp.* naturales contenidas en agua residual, para el experimento se construyó un reactor de flujo continuo, equipado con una fuente de luz ultravioleta con sus especificaciones de voltaje, mecánica de la bomba, caudales y tiempo de exposición. El total

de ensayos, se validaron seis para la bacteria *Escherichia coli*, natural, con un rango de dosis de exposición ultravioleta de 9.07 a 30.15 (mJ/sg); mientras que para la bacteria Enterococcus sp, natural, se utilizaron 3 ensayos válidos, experimentando con rango de dosis entre 8.24 a 16.39 (mJ/sg). De cada ensayo se tomaron siete muestras; dos blancos (sin dosis ultravioleta) y cinco (con dosis ultravioleta). De acuerdo con los resultados, se concluye que las dosis óptimas de radiación ultravioleta para la inactivación de las bacterias estudiadas son: Escherichia coli, natural, de 21.7 mJ/sg, mientras que para Enterococcus sp, natural, 14.35 mJ/sg (p. VII).

De manera similar Beltrán Zarza (2006) aplicó luz ultravioleta para la desinfección de efluentes secundarios con alto contenido de patógenos tales como Salmonella typhi o Acanthamoeba spp. Las pruebas de desinfección se realizaron a nivel laboratorio por medio de un equipo de luz colimada. Se trabajaron en 3 sistemas, en la primera se realizaron las pruebas de desinfección aplicando diversas dosis de luz UV (de 5 a 120 mJ/cm²). A 30 mJ/cm² es una dosis óptima para la inactivación de coliformes fecales y de Salmonella typhi. En la segunda etapa, las bacterias coliformes fecales y S. typhi fueron capaces de reactivarse por la luz UV a dosis bajas (≤ 30 mJ/cm²), aplicándose el doble de dosis. En la tercera fase se determinó el número de microorganismos asociados a partículas en función de la concentración de sólidos suspendidos y de las partículas mayores que 40 μm. En la cuarta fase, las amebas alcanzan concentraciones inferiores a 10 y 20 quistes, siendo necesario aplicar altas dosis de luz ultravioleta. Los resultados mostraron que la luz ultravioleta se puede utilizar para eliminar organismos de efluentes secundarios (p.1).

Asi mismo Gonzales Ortiz (2019) evaluó el comportamiento de un sistema UV para desinfección de un efluente que proviene de un humedal construido, relacionando esta capacidad con la estacionalidad y la concentración de SST. En la zona de Hualqui, en la región del Biobo, se realizó un sistema piloto en el que se tomaron 12 muestras y cuatro de

ellas estuvieron relacionadas con cada estación. El resultado principal fue una relación directa entre la cantidad de SST de sólidos suspendidos totales presentes y la desinfección lograda, resultando en una desinfección de 2,03 uLog de coliformes fecales en invierno con una concentración de SST de 26,7 mg/L y una desinfección menor de 0,33 uLog en verano con una concentración de SST de 34,65 mg/L, que no cumple con los requisitos del DS 90/00 (p. 1).

También Caracela & Tapia (2022) llevaron a cabo un estudio sobre el tratamiento de las aguas de riego del río Surco mediante radiación ultravioleta. La investigación se desarrolló a nivel experimental, en la cual se recolectaron muestras del río Surco al ingreso del distrito de Lince, y se determinaron cinco parámetros para la caracterización: coliformes termotolerantes (CT), Escherichia coli, huevos de helmintos, sólidos suspendidos totales y turbidez. En la evaluación de estos parámetros, se reportaron niveles elevados para CT y E. coli, se obtuvieron resultados de 70,000 NMP/100 ml para ambos microorganismos y menos de 1 huevo/L para los huevos de helmintos. Los primeros dos parámetros no cumplen con los estándares ambientales del DS N°004-2017 MINAM para agua de riego no restringido (categoría 3). Para reducir los contaminantes, se diseñó un equipo piloto de tratamiento con radiación ultravioleta (RUV). Este método resultó en reducciones superiores al 99.75% para coliformes termotolerantes y al 99.81% para Escherichia coli, demostrando ser un tratamiento eficiente para la disminución de contaminantes biológicos en aguas superficiales (p. 12).

En esa misma línea Veliz Flores (2015) realizó la desinfección del efluente secundario de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Ayacucho mediante radiación ultravioleta con fines de mejorar su calidad, con el objetivo principal de mejorar la calidad del agua. Este proceso se realizó mediante dos tipos de pruebas experimentales: la primera con agua sin filtrar y la segunda con agua filtrada. La desinfección sin filtración mostró una eficiencia limitada en la remoción de microorganismos, con 54,628 NMP/100 ml, lo que no alcanzó los

estándares de calidad sanitaria para riego de vegetales, según los límites máximos permisibles establecidos por el D. S. 002-2008-MINAM. En contraste, las pruebas con agua filtrada, utilizando un filtro de sedimentación y uno de carbón activado, mejoraron significativamente la eficiencia de la desinfección, reduciendo los microorganismos a 81 NMP/100 ml. Esto cumplió con los estándares de la EPA, OMS y las normativas peruanas, que exigen un máximo de 1000 y 2000 NMP/100 ml para riego de vegetales de tallo bajo y alto, respectivamente. En conclusión, el método de radiación ultravioleta combinado con filtración demostró ser un tratamiento eficaz para obtener agua de calidad sanitaria adecuada para el riego agrícola sin restricciones. (p. II)

Por otro lado, Chambi Laura (2021) evaluó experimentalmente el uso de luz ultravioleta en la descontaminación bacteriana de aguas del río Chili, cuyo método experimental fue la comparación de los resultados antes y después del proceso de desinfección, evaluando coliformes totales y termotolerantes. En la prueba del prototipo 1, se utilizó una lámpara de 110 Watts y 500 ml de agua con un tiempo de exposición de 9 minutos, logrando una remoción de 99.99% para coliformes totales y 99.82% para coliformes termotolerantes. En la prueba del prototipo 2, con una lámpara de 150 Watts y 1000 ml de agua durante 6 minutos, se alcanzaron eficiencias de 99.99% y 99.63% respectivamente. Para validar, se usó un modelo UVS-18 con 1000 ml de agua, determinando un tiempo óptimo de 6 minutos con eficiencias de 99.99% para coliformes totales y 99.97% para coliformes termotolerantes. La longitud de onda UV debe estar en el rango UV-C germicida de 200-280 nm para los prototipos y 254 nm para el UVS-18. (p. X)

En ese contexto Manotupa Cueva (2017) diseñó e implementó un sistema para potabilizar agua de lluvia usando una lámpara germicida de luz ultravioleta para eliminar microorganismos. El sistema incluye la conmutación de dos electroválvulas y el encendido de la lámpara UV, y se presenta un diagrama de flujo para ilustrar su funcionamiento. Se

evaluaron los requerimientos, alternativas y selección de componentes del sistema, y se justificaron las soluciones elegidas. Además, se analizaron los costos y se presentaron los resultados de un ensayo con agua de lluvia, demostrando la eficacia del sistema en diferentes tiempos de irradiación con un controlador Arduino UNO. En conclusión, el sistema diseñado e implementado logró cumplir con los objetivos propuestos para la potabilización de agua de lluvia. (p. VII)

Del mismo modo Calderón Landy (2014) diseñó y construyó un prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta, tomando en detalle las especificaciones eléctricas, mecánicas y caudales de exposición. La eficiencia del sistema se evaluó mediante la presencia de coliformes totales. Los ensayos preliminares identificaron variables clave, y los ensayos posteriores utilizaron tiempo y caudal como variables. Se aplicó luz ultravioleta en cinco caudales diferentes (3.61 ml/s, 4.17 ml/s, 16.03 ml/s, 57.87 ml/s y 102.56 ml/s) durante 5 minutos, tomando tres muestras por corrida. El tratamiento fue más eficiente con el menor caudal, eliminando completamente los coliformes totales. Se observó que, al aumentar el caudal y el tiempo, también aumentaba la cantidad de coliformes totales. (p. VII)

Por su parte Vera-Marmanillo (2021) comparó la efectividad en remoción de patógenos de aguas residuales domésticas con tratamientos biológicos y tratamientos físicos por radiación UV. Se tomaron muestras del río Huatanay, recolector de efluentes de Cusco, con 2000 ml para cada reactor. Se midieron parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y DQO) y biológicos (bacterias facultativas, consorcio de organismos activados y coliformes fecales). La evaluación de parámetros fisicoquímicos se realizó cada 3 días y la de parámetros biológicos cada 15 días. Los resultados mostraron que los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron estables durante el tratamiento. El reactor UV fue más efectivo en la reducción de turbidez y coliformes fecales,

alcanzando una remoción del 89.04%, en comparación con el 85.54% del biorreactor. Ambos tratamientos fueron eficientes en la remoción de patógenos, con una generación mínima de biosólidos en el biorreactor y casi nula en el reactor UV (p.61).

Además, Briones García, L (2019) evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín en la eliminación de coliformes totales, fecales y E. coli. La investigación, de enfoque cuantitativo, incluyó muestreos cada veintidós días con cuatro repeticiones por parámetro. Los resultados (en NMP/100mL) para el efluente fueron: coliformes totales: $35x10^6$; $54x10^5$; $35x10^4$; $11x10^5$; coliformes fecales: $35x10^6$; $35x10^4$; $17x10^4$; $21x10^4$; y E. coli: $11x10^6$; $35x10^4$; $13x10^4$; $21x10^4$. Estos valores superan los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental (ECA) de la normativa nacional, demostrando que la planta de tratamiento es ineficiente. Según el estudio de factibilidad realizado por el gobierno regional de Cajamarca, la planta debería alcanzar una eficiencia del 99.99% en la eliminación de la carga microbiológica (p. 8).

Por otro lado, Rossel et al. (2020) realizaron un experimento en el que se ajustaron los caudales de agua para obtener distintos tiempos de exposición a la radiación ultravioleta de Clase C (UV-C), con una longitud de onda de 200 nm a 280 nm y una onda dominante de 245 nm, con una potencia de emisión de 4,9 W. El tiempo de retención se empleó como una variable ajustable. La cantidad de coliformes totales en el agua sin tratamiento fue superior a 200 UFC/100 ml. En comparación, las muestras sometidas a la radiación UV-C mostraron, a los 2 segundos de exposición, resultados que variaron entre más de 200 UFC/100 ml y un mínimo de 80 UFC/100 ml. Para un tiempo de exposición de 3 segundos, se obtuvo un máximo de 98 UFC/100 ml y un mínimo de 37 UFC/100 ml. La muestra expuesta durante 4 segundos resultó en 0 UFC/100 ml, concluyendo que a los 4 segundos se logró la inactivación total (100 %) de las bacterias del grupo de coliformes totales (p. 9).

De la manera similar Veliz, et al (2018) llevaron a cabo un experimento para reducir

los valores de DBO, STS y turbiedad mediante procesos de filtración y adsorción previos al tratamiento. La disminución de la concentración de STS de 36 a 10 mg/l es clave, ya que facilita la desinfección por radiación UV. La inactivación de los microorganismos es más eficiente cuando la concentración de STS es preferentemente inferior a 10 mg/l (p.64).

Finalmente, Severin et al. (1983) investigaron los efectos de la temperatura en la desinfección mediante luz ultravioleta y determinaron que esta es relativamente insensible a las variaciones de temperatura. Las pruebas de desinfección se realizaron a 5ºC, 20ºC y 35ºC. Sin embargo, estudios in vitro previos indicaron que la desinfección puede ser más efectiva a temperaturas más bajas que a temperaturas más altas, ya que por debajo de 25ºC, los polinucleótidos monocatenarios y las cadenas de ADN adoptan una configuración apilada. El ADN apilado y los polinucleótidos monocatenarios apilados son más propensos a la dimerización que el ADN no apilado (p.7).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Desinfección de las aguas residuales

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1999) define la desinfección de aguas residuales como los mecanismos principales para desactivar o destruir organismos patógenos, con el fin de prevenir la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, tanto a los usuarios aguas abajo como al medio ambiente. Es esencial tratar adecuadamente las aguas residuales antes de aplicar la desinfección para garantizar la eficacia del desinfectante.

2.2.2. Características biológicas del agua.

Las aguas residuales, según su composición y concentración, pueden contener una gran cantidad de organismos. Además, la temperatura y el pH influyen en su presencia, ya que cada organismo necesita valores específicos de estos dos parámetros para su desarrollo (Espigares y Pérez, 1985).

Los principales grupos de organismos presentes en aguas residuales y superficiales se clasifican en eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. La mayor parte de los organismos se encuentra dentro del grupo de las eubacterias. Dentro de los eucariotas, la categoría protista incluye algas, hongos y protozoos. Las plantas, como los helechos, musgos, hepáticas y plantas con semilla, se clasifican como eucariotas multicelulares (Metcalf y Eddy, 1995).

Espigares y Pérez (1985) describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar, dentro de estos se encuentran a:

Bacterias.

Las bacterias presentes en las aguas residuales pueden ser de origen fecal o estar involucradas en procesos de biodegradación, tanto en el entorno natural como en las plantas de tratamiento. En las aguas residuales brutas, predominan especies de los siguientes grupos: *Escherichia, Salmonella, estreptococos fecales, Proteus, Pseudomonas, Aeromonas, Serratia, Bifidobacterium, Clostridium, Zooglea, Flavobacterium, Nocardia, Achromobacter, Alcaligenes, Mycobacterium, Nitrosomonas, Nitrobacter,* entre otros (Espigares y Pérez, 1985).

Las bacterias coliformes se utilizan como indicadores de contaminación por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente entre 100.000 y 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias. Estos son agentes infecciosos potenciales en el agua doméstica residual bruta (Espigares y Pérez, 1985).

Virus

Los virus presentes en las aguas residuales provienen de la excreción de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Estos virus tienen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras partículas, lo que favorece su supervivencia prolongada en las aguas residuales. Entre los virus que se pueden encontrar están: Poliovirus, virus Echo,

Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus. La alta supervivencia de estos virus les permite resistir algunos tratamientos de aguas residuales, representando un peligro para las aguas receptoras. Durante los tratamientos, los virus se adsorben a la superficie de los flóculos, siendo separados de las aguas residuales, pero no inactivados. Algunos permanecen en el efluente, constituyendo un riesgo para la salud, aunque el mayor peligro lo representan aquellos que quedan en el fango en mayores cantidades, especialmente si este fango se utiliza como fertilizante sin tratamiento previo (Espigares y Pérez, 1985).

Algas

El desarrollo de organismos en las aguas residuales se ve impulsado por la presencia de diferentes formas de fósforo y nitrógeno, además de carbono y pequeñas cantidades de elementos como hierro y cobalto, lo que provoca procesos de eutrofización. Este fenómeno es causado principalmente por algas de los géneros Anacystis, Anabaena, Gleocystis, Spirogyra, Cladophora, Enteromorpha, Stigeoclonium, Ulothrix, Chlorella, Euglena y Phormidium, entre otros (Espigares y Pérez, 1985).

Protozoos

Los organismos más comúnmente presentes en las aguas residuales son amebas, flagelados y ciliados, tanto libres como fijos. Estos organismos desempeñan un papel crucial en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y sistemas de lodos activados. Son capaces de eliminar bacterias suspendidas en el agua, las cuales no sedimentan, evitando así la producción de efluentes turbios (Espigares y Pérez, 1985).

Hongos

La mayoría de los hongos son aerobios estrictos, capaces de tolerar valores de pH relativamente bajos y con una baja demanda de nitrógeno. Estas características les permiten

desempeñar un papel importante en el tratamiento de aguas residuales industriales. Entre los géneros presentes se encuentran: *Geotrichium, Mucor, Aureobasidium, Subbaromyces, Fusarium, Sepedonium y Sphaerotilus.* En los sistemas de tratamiento con lodos activados, los hongos, junto con las bacterias filamentosas, pueden causar un problema conocido como bulking, ya que su presencia dificulta la sedimentación de los lodos (Espigares y Pérez, 1985).

Parámetros de calidad y sus valores

Dentro de los parámetros de calidad microbiológicos se encuentra a los siguientes:

Coliformes totales

Según la OMS (1998), estos microorganismos se consideran un indicador microbiano adecuado de la calidad del agua, principalmente porque son fáciles de detectar y enumerar. Estas bacterias son gram-negativas, con forma de bastón, capaces de desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensioactivos similares que inhiben el crecimiento. Además, pueden fermentar la lactosa a 35-37°C, produciendo ácido, gas y aldehído en un plazo de 24-48 horas. También son oxidasa-negativas, no forman esporas y muestran actividad de β-galactosidasa.

En cuanto a los límites para este parámetro, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2012) establece que, para el reúso de aguas residuales tratadas en riego agrícola sin restricciones, el límite máximo permisible de coliformes totales es de 240 NMP/100 mL. Este valor se utiliza como referencia internacional cuando no existen normativas locales específicas. Asimismo, en Colombia, el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud establece un límite máximo permisible de 5×10^3 NMP/100 mL.

Coliformes termotolerantes

Según la OMS (1998), las bacterias coliformes termotolerantes son microorganismos capaces de fermentar la lactosa a temperaturas de 44-45 °C. Este grupo comprende el género Escherichia y ciertas especies de Klebsiella, Enterobacter y Citrobacter. Los coliformes termotolerantes distintos de E. coli pueden originarse en aguas enriquecidas orgánicamente, como los efluentes industriales, o en materiales vegetales en descomposición y suelos. Por esta razón, el término "fecales" aplicado a estos coliformes, aunque se utiliza con frecuencia, no es correcto y su uso debe ser abandonado (p.64).

En cuanto a la regulación, el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, fijando un límite de 10^4 NMP/100 mL para coliformes termotolerantes antes de su descarga a cuerpos naturales de agua.

Por otro lado, para el reúso de aguas residuales tratadas en la agricultura sin restricciones, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un límite máximo permisible de 10^3 NMP/100 mL, valor orientado a proteger la salud pública en cultivos que pueden ser consumidos crudos.

Asimismo, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua en el Perú, determina que para la categoría 3 —riego de vegetales de consumo crudo—, el límite máximo de coliformes termotolerantes es de 1,000 NMP/100 mL. Este estándar es de aplicación obligatoria para evaluar la calidad microbiológica del agua destinada al riego agrícola en el país.

A nivel internacional, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2012) establece que, para el reúso de aguas residuales tratadas en riego agrícola sin restricciones, el límite máximo permisible de coliformes termotolerantes es de 200 NMP/100 mL. Este valor es frecuentemente tomado como referencia cuando no existen regulaciones locales específicas.

Salmonella

Según la Organización Mundial de la Salud (2018), el género Salmonella comprende bacilos gramnegativos de la familia Enterobacteriaceae. Hasta la fecha, se han identificado más de 2,500 serotipos diferentes, divididos en dos especies: Salmonella bongori y Salmonella enterica. Estas bacterias son causantes de enfermedades como la salmonelosis, una de las principales causas de brotes de intoxicación alimentaria y trastornos gastrointestinales. Además, la Salmonella puede persistir durante varios meses en cuerpos de agua, y su presencia es indicativa de contaminación fecal del agua.

Estos microorganismos son altamente resistentes a condiciones adversas, lo que facilita su supervivencia en ambientes acuáticos. Por ello, su detección en el agua es fundamental para prevenir riesgos a la salud pública.

Escherichia coli

De acuerdo con la OMS (2018), la bacteria Escherichia coli (E. coli) se encuentra normalmente en el intestino de los seres humanos y de los animales de sangre caliente. Aunque la gran parte de las cepas de E. coli son inofensivas, algunas, como las productoras de toxina Shiga, pueden causar enfermedades graves a través del consumo de agua o alimentos contaminados. La transmisión al ser humano ocurre principalmente por el consumo de agua y alimentos contaminados, como hortalizas y semillas germinadas crudas. E. coli produce toxinas conocidas como toxinas Shiga, similares a las producidas por Shigella dysenteriae. Esta bacteria puede desarrollarse en un rango de temperaturas entre 7 °C y 50 °C, con una temperatura óptima de 37 °C. Además, ciertas cepas son capaces de desarrollarse en ambientes ácidos, con un pH tan bajo como 4.4, y en alimentos con una actividad de agua (aW) mínima de 0.95.

2.2.3. Filtración de Agua

De acuerdo con Arboleda (2000), la filtración se caracteriza por la velocidad a la que el agua penetra el medio filtrante o poroso, medida como carga superficial (qF), es decir, la división del caudal (Q) entre el área de filtración (Af). Este parámetro es clave para controlar la eficiencia del proceso, ya que una velocidad adecuada permite una mejor retención de partículas y evita la saturación rápida del filtro. Además, la carga superficial influye directamente en la calidad del agua filtrada y en la duración del ciclo de operación antes del lavado del medio filtrante.

$$qF = \frac{Q}{Af}$$

Donde:

A = Área superficial

Q = Caudal que entra al filtro

Mecanismos responsables de la filtración

El proceso de filtración ocurre en dos etapas distintas pero complementarias:

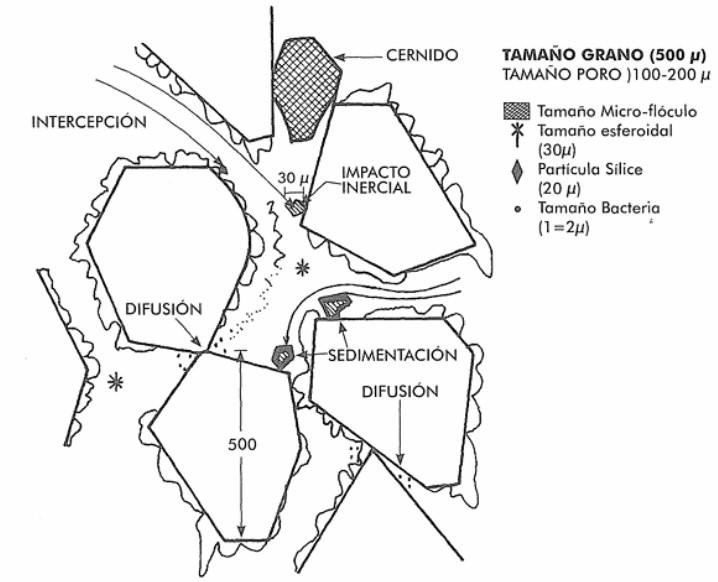
- Movimiento de las partículas a través de los poros.
- Adherencia a los granos del medio.

Movimiento de las partículas a través de los poros

Los sólidos se transportan por el medio filtrante por fenómenos físicos e hidráulicos, tales mecanismos se muestran la figura 1, y se detallan a continuación:

Figura 1

Movimiento durante el transporte de las partículas



Fuente: (Arboleda, 2000, p369).

– **Tamizado**

Las partículas sólidas con un diámetro mayor que los poros del medio filtrante se retienen en su superficie, típicamente funciona con partículas que resistan la velocidad del flujo (Arboleda, 2000).

– **Sedimentación**

La sedimentación ocurre debido a la gravedad que actúa sobre las partículas suspendidas durante la filtración. Además, se sugiere que la eliminación de partículas más pequeñas que los poros del filtro puede deberse a su sedimentación en la superficie de los granos (Cristóbal, 2005).

– **Interceptación directa:**

A bajas velocidades, el flujo es laminar, por lo que las partículas sólidas se mueven a lo largo de las líneas de corriente sin desviarse de ellas. Terminan estrechándose en las fibras del medio poroso y quedan atrapadas (Arboleda, 2000).

– **Impacto inercial:**

El impacto inercial se manifiesta cuando la velocidad del flujo es elevada y las

partículas son de gran tamaño. En estas condiciones, la inercia de las partículas puede provocar que sigan trayectorias distintas a las líneas de flujo. Al curvarse las líneas de flujo alrededor de un obstáculo, como una fibra o un grano, las partículas pueden mantener su trayectoria original debido a las fuerzas inerciales, colisionando con los gránulos del filtro y adhiriéndose a ellos (Arboleda, 2000).

- **Difusión**

Este mecanismo ocurre en filtros donde pequeñas partículas exhiben movimiento browniano. Determina el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en un fluido y que realizan movimientos irregulares, los cuales no siguen una línea recta a pesar de ser diferentes de la línea de corriente. Este efecto aumenta con diámetros de partículas pequeñas y alta velocidad de flujo (Arboleda, 2000).

La de adherencia a los granos del medio.

La adherencia o no adherencia de las partículas al medio filtrante está determinada principalmente por mecanismos físicos, más que por factores químicos y electroquímicos. Dentro de los más importantes podemos considerar las fuerzas de Van Der Waals, los efectos electrostáticos y el puente químico, estos mecanismos depende de las características de la partícula en el fluido y del medio poroso, además estas partículas serán adheridas al medio filtrante cuando resistan las fuerzas y flujo de la mezcla a filtrar. (Arboleda, 2000).

 Adsorción química o Fuerzas de Van der Waals

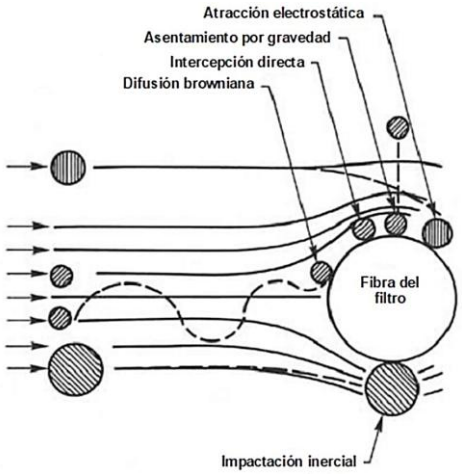
Son fuerzas de estabilidad, el cual forman un enlace químico no covalente donde actúan dos interacciones: dispersión y repulsión. Las partículas pueden atraerse a las fibras del tejido o repelerse entre sí, lo que provoca que colisionen y queden atrapadas en el medio. Las partículas se adhieren a la superficie del medio a través de interacciones químicas (Berbet, 2023).

 Fuerzas electrostáticas

Cuando la velocidad del caudal es baja, se puede dar que, debido a una carga diferente entre partícula y fibra, ambos se atraigan, y así la partícula acaba atrapada en el medio filtrante (Berbet, 2023).

Figura 2

Fuerzas electrostáticas entre la partícula y la fibra



Fuente: (Berbet, 2023)

 Puente químico:

Los polielectrolitos se utilizan para aumentar la adherencia de los sólidos en suspensión al medio filtrante, ya que son segmentos que se extienden en el agua y crean enlaces químicos entre las partículas y el material filtrante. La adherencia observada no depende de las fuerzas de Van der Waals ni de las fuerzas electrostatáticas (Berbet, 2023).

Factores que influyen en la filtración

Tipo de partícula

La eficiencia de la filtración está influenciada por el tipo de partículas primarias presentes en el agua cruda. En particular, la existencia de algas en el afluente de los filtros de

una instalación de filtración directa resulta en la formación de curvas de pérdida de carga más acentuadas en comparación con aquellas en las que el afluente contiene únicamente partículas suspendidas coaguladas (Cristóbal, 2005).

Tamaño de la partícula

Existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, aproximadamente de 1 mm, que reduce la probabilidad de contacto entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. Este fenómeno se manifiesta desde el inicio, cuando el medio filtrante está limpio, hasta el final del proceso de filtración. Algunos productos químicos, como los coagulantes tradicionales y los polímeros, pueden emplearse para ajustar el tamaño de las partículas suspendidas y así lograr una mayor eficiencia (Cristóbal, 2005).

Densidad de la partícula

A medida que aumenta la densidad de las partículas suspendidas, se incrementa la eficiencia en la remoción de partículas cuyo tamaño supera el crítico previamente mencionado (Cristóbal, 2005).

Medios filtrantes

La filtración de las aguas residuales ocurre con los siguientes medios filtrantes: granular, tejidos, rocas, entre otros de los cuales para la presente investigación se emplearon los filtros de fibra de polipropileno y filtro granular de carbón activado (Berbet, 2023).

Filtros de fibra de polipropileno

Las fibras de polipropileno se producen a través de procedimientos químicos, esta clase de fibra tiene la capacidad de sustituir características particulares, como la resistencia química o la elasticidad (Berbet, 2023).

Esta fibra, clasificada dentro de las poliolefinas, se obtiene mediante la polimerización del propeno. Es un polímero apolar en su fase cristalina. Este material destaca

por su alta durabilidad y dureza, además de ser resistente y adaptable, lo que facilita su moldeado. Originado a partir de combustibles fósiles, se extrae del petróleo crudo en forma de gas y se polimeriza mediante un proceso de crecimiento de cadena para producir el polímero (Berbet, 2023).

En la industria se utilizan generalmente filtros de polipropileno en forma de cartucho, debido a su alta resistencia química y diversos poros (0.2 micrómetros hasta 40 micrómetros) (Jiménez, 2016).

Filtros de carbón activado

Según Ramalho (1996) el carbón activado es un material carbonáceo con una gran cantidad de microporos que le confieren una estructura muy porosa y una gran capacidad de adsorción, la capacidad de adsorción es en función de la superficie total del adsorbente, ya que cuanto mayor sea esta superficie se dispone de mayor número de fuerzas residuales no equilibradas para la adsorción, además el carbón activado, bien granular o bien en forma de polvo, se emplean como adsorbentes en las plantas de tratamiento de agua para eliminar los olores y sabores que producen los contaminantes (Ramalho, 1996, p599).

La eliminación de contaminantes en los filtros de carbón activo se lleva a cabo mediante tres mecanismos: adsorción, fijación de partículas grandes, y deposición parcial de materia coloidal. Los porcentajes de eliminación dependen fundamentalmente del tiempo de contacto entre el agua residual y el carbón activo (Ramalho, 1996, p599).

La activación del carbón activado se basa en dos tecnologías fundamentales: la primera es la activación física, conocida como activación térmica, dado que se produce la carbonización a temperaturas de 800°C. La segunda es la activación química, donde se emplean diversos agentes activantes, entre los cuales se destacan el cloruro de zinc y el ácido fosfórico. (Portugal Yagua & Sosa Gomez, 2023).

2.2.4. Radiación ultravioleta

El espectro de longitud onda de la radiación ultravioleta comprendido entre 200-280 nm, tiene la capacidad de inhibir la multiplicación celular, debido al daño causado en su material genético, generando enlaces covalentes entre pares de timina adyacentes en la misma hebra de DNA (Ramis Cirujeda,2019).

Para emitir la radiación ultravioleta, se emplean lámparas de mercurio instaladas en tubos de cuarzo, los cuales permiten que la radiación pase al agua. Estos bastidores de cuarzo requieren sistemas de limpieza, ya que, al encontrarse sumergidos en agua, son proclives a la formación de biofilm en su superficie que bloquee la radiación, reduciendo la efectividad del tratamiento. (Ramis Cirujeda,2019)

La desinfección con ultravioleta (UV)

La desinfección por radiación ultravioleta (UV) es uno de los métodos más prácticos para la desinfección en aguas residuales, ya que permite la inactivación de bacterias, virus, esporas y quistes de protozoos (Osorio et al., 2010). Este método puede ser de aplicación tanto en aguas industriales como en el tratamiento de aguas residuales.

Sin embargo, su eficacia es considerablemente mayor cuando se aplica en agua destinada al consumo humano en comparación con el agua residual tratada. Esto se debe a que la turbidez en el agua residual es más elevada, lo que reduce la transmitancia de la radiación UV y, por lo tanto, disminuye su eficiencia (Osorio et al., 2010).

El efecto desinfectante de la radiación UV radica en la energía asociada a su longitud de onda o frecuencia, la cual genera daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos (ADN) de los microorganismos, impidiendo su replicación. Este principio se basa en la ley de Beer-Lambert, la cual establece que la cantidad de energía absorbida por un medio es proporcional a la concentración de sustancias presentes en el medio, que pueden obstruir el paso de la luz (Skoog et al., 2007). Así, una mayor turbidez disminuye la penetración de la radiación UV,

reduciendo su eficacia desinfectante.

Este proceso se desarrolla mediante la aplicación de radiación en la banda UV-C, con longitudes de onda entre 200 y 280 nanómetros (nm), siendo la más efectiva la de 254 nm, correspondiente al pico desinfectante (EPA, 2006).

Ley de Beer-Lambert y su aplicación en la transmisión de radiación UV en agua

La Ley de Beer-Lambert establece que la transmisión de radiación electromagnética disminuye en función de la concentración de absorbentes en el medio y la distancia que esta recorre (Berg, Tymoczko & Gatto, 2015). Este principio es esencial para entender que a mayor cantidad de partículas, turbidez o compuestos disueltos en el agua, mayor es la absorbancia y menor la penetración de la radiación UV, lo que compromete su capacidad germicida. Por tanto, esta ley fundamenta la importancia del pretratamiento del agua, a fin de garantizar que la radiación UV alcance eficazmente a los microorganismos y logre su inactivación.

Ley de Kirchhoff – Emisión y absorción de radiación en medios UV

La Ley de Kirchhoff de la radiación térmica establece que, en equilibrio, un cuerpo que absorbe bien la radiación en una longitud de onda determinada también la emite con igual eficiencia (Tipler & Mosca, 2008). Este principio es esencial en los sistemas de desinfección UV, ya que implica que tanto la fuente emisora como los materiales que rodean al flujo de agua deben tener propiedades ópticas adecuadas.

En este estudio, la lámpara germicida UV-C de baja presión**,** diseñada para emitir radiación a 254 nm, requiere de materiales emisores, como el tubo de cuarzo, con alta emisividad en ese rango para maximizar la salida de radiación. Del mismo modo, las superficies internas del reactor, que entran en contacto con la radiación, deben ser altamente reflectantes y de baja absorbancia para evitar pérdidas. Esto asegura que la mayor cantidad de

radiación se distribuya eficazmente en el interior del sistema y alcance a los microorganismos presentes en el agua, incrementando la eficiencia germicida.

En síntesis, la Ley de Kirchhoff fundamenta la selección de materiales en el diseño de sistemas UV, garantizando una adecuada emisión y reflexión de la radiación ultravioleta en el proceso de desinfección.

Principios de la Ley de Planck y su relevancia en los procesos de desinfección por radiación UV

La Ley de Planck de la radiación, formulada en 1900, establece que la energía radiante no se emite de forma continua, sino en unidades discretas conocidas como cuantos de energía, cuya liberación depende de la temperatura y la longitud de onda del cuerpo emisor (Planck, 1901; Tipler & Mosca, 2008). Este principio resolvió la llamada catástrofe ultravioleta, proporcionando el fundamento para explicar por qué los cuerpos calientes emiten radiación con diferentes intensidades y longitudes de onda.

En el ámbito de la desinfección por radiación ultravioleta, la Ley de Planck es fundamental para comprender el funcionamiento de las lámparas germicidas, que al alcanzar temperaturas específicas durante su operación (aproximadamente 40 °C en las lámparas de mercurio de baja presión) emiten radiación con máxima intensidad en torno a los 254 nanómetros, dentro del rango UV-C (Osorio et al., 2010; Tipler & Mosca, 2008). Esta longitud de onda posee suficiente energía para causar daños fotoquímicos en el ADN de los microorganismos a través de la formación de dímeros de timina, lo que inhibe su replicación y viabilidad. Por tanto, la Ley de Planck no solo fundamenta el fenómeno físico de la emisión radiante, sino que también respalda el diseño de sistemas UV eficientes para la desinfección microbiológica del agua de manera eficaz y segura, de la misma manera, la energía se vincula con la frecuencia de la onda electromagnética a través de una constante. Además, la longitud de onda se relaciona con la frecuencia mediante la velocidad de la luz (Osorio et al., 2010).

Energía - Relación de Plank

$$E = h * \gamma$$

Donde:

E = energía

h = constante de Plank = $6.626 * 10^{-34}$ J.s

γ = frecuencia (Hz)

Velocidad de la luz

$$C = \lambda * \gamma$$

Donde:

C = Rapidez de la luz (Velocidad en el vacío 3,6 * 108 m/s)

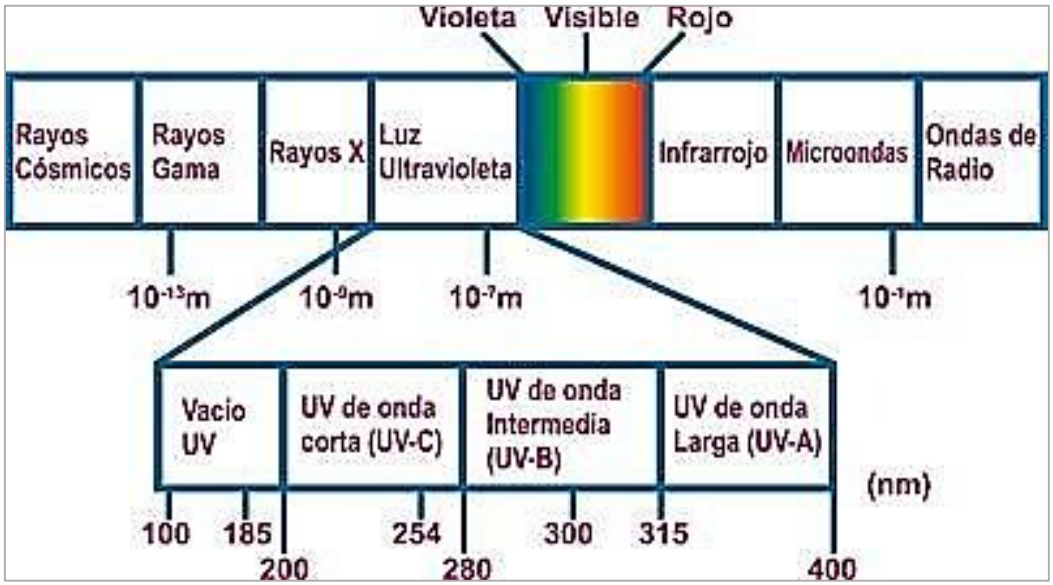
λ = longitud de onda (nm)

γ = frecuencia (Hz)

En el espectro electromagnético la radiación UV se ubica por debajo del espectro visible.

Figura 3

Espectro electromagnético.



Fuente: (Lema, M., 2015)

Dentro del espectro electromagnético de la UV se puede dividir en cuatro zonas encontrándose la máxima adsorción de luz UV en los microorganismos con un λ=254 nm, longitud de onda irradiada por las lámparas usadas convencionalmente.

Zona 1: UV-vacío (100 nm < λ <200 nm)

Zona 2: UV-C (200 nm < λ <280 nm)... onda corta

Zona 3: UV-B (280 nm < λ <315 nm)... onda media

Zona 4: UV-A (315 nm < λ < 400 nm)... onda larga

Tipos de lámparas

Osorio et al. (2010) clasifican el tipo de lámpara de radiación UV que se utilizan en función de la presión de funcionamiento:

Lámparas de baja presión

El mercurio se introduce en la lámpara trabajando a una presión de $7e^{-3}$ torr o $9.33x10^{-4}$ KPA (85% de la luz emitida en UV), la temperatura de trabajo está en torno a los 40 °C.

Las longitudes estándar de las lámparas de baja presión son de 0,75 y 1,5 metros, y sus diámetros van de 1,5 a 2,0 cm.

Lámparas de media presión

- El mercurio se encuentra a una presión de vapor de 13 kPa (44% de la luz que emita es UV).
- Son comúnmente utilizadas en instalaciones de mayor envergadura.
- Estas lámparas UV poseen una intensidad germicida entre 15 y 20 veces superior a la de las lámparas de baja presión.
- Funcionan a temperaturas más elevadas y con un mayor consumo de energía eléctrica.

Dosis necesaria

La longitud de onda óptima para desactivar o eliminar eficazmente los microorganismos se sitúa entre 250 y 270 nm. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara disminuye a medida que aumenta la distancia de la misma. Las lámparas de baja presión emiten principalmente luz monocromática a una longitud de onda de 253.7 nm. Las longitudes estándar de estas lámparas son de 0.75 y 1.5 metros, con diámetros que varían entre 1.5 y 2.0 cm. La dosis se calcula como el producto de la intensidad ultravioleta por el tiempo de exposición, por lo que ambos factores (intensidad y tiempo) son cruciales.
Además, es esencial caracterizar el agua a tratar, ya que ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos pueden reducir la intensidad ultravioleta, afectando la destrucción del ADN de los microorganismos. La calidad microbiológica del efluente de un sistema está directamente relacionada con las características del influente (Beltrán & Jiménez, 2000).
Asimismo, el correcto funcionamiento de la lámpara ultravioleta es crucial; es necesario controlar el tiempo de operación, realizar un mantenimiento adecuado y asegurar la limpieza para garantizar una buena transmisión de radiación al agua tratada. En el diseño de un reactor de desinfección ultravioleta, un parámetro importante es el tiempo hidráulico de retención, ya que permite calcular el tiempo durante el cual el agua estará expuesta a la radiación ultravioleta (Martínez Castillo, 2020, p.23).
Según Osorio et al. (2010), la dosis necesaria suministrada al microorganismo por las lámparas para desactivarlo se calcula de la siguiente manera:

- **Cálculo de dosis necesaria (D)**

$$D = I * t \ (\mu Ws/cm^2)$$

O tambien

$$D(mJ/cm^2) = D(\mu Ws/cm^2) \times 0.001$$

Donde:

I = Intensidad medida en Microwatts-segundo por centímetro cuadrado (µWs/cm²)

t = tiempo expuesto o tiempo retenido (segundos)

- **Ley de Chik para la estimacion del número de microorganismos (N)**

La tasa de destrucción de los microorganismos es proporcional al número de microorganismos vivos que quedan y a la dosis de desinfectante recibida (en este caso, la dosis UV).

$$\mathbf{N=No * e^{-kD}}$$

Donde:

N = Total de bacterias a tiempo t.

No = número de microorganismos inicial.

k = tasa que depende del microorganismo.

D = dosis necesaria ($W.s/m^2$; J/m^2; µWs / cm^2)

La reducción del número de microorganismos depende estrictamente de la dosis aplicada, permitiendo compensar un tiempo de exposición más corto con una mayor irradiación. Para lograr inactivaciones del 99%, 99.9% y 99.99%, se requieren dosis que son 2, 3 y 4 veces la dosis (D10) necesaria para una inactivación del 90% o una supervivencia del 10%.

La tecnología de desinfección con ultravioleta está creciendo en interés desde que se ha demostrado su efectividad en la eliminación de quistes de giarda y huevos de *cryptosporidiu.* Sin embargo, uno de los grandes inconvenientes de la utilización de la UV es la fotorreactivación, ya que se ha demostrado que muchos microorganismos son capaces de reparar sus ácidos nucleicos dañados por la luz ultravioleta, observándose que la temperatura

a la que ocurre el proceso tiene importancia en la reacción bioquímica que se produce en los microorganismos, incluso este efecto de la reactivación de microorganismos ha sido ampliamente estudiado y analizada su relación con la temperatura (Osorio, Torres y Sánchez, 2010).

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1999), la utilización de esta tecnología presenta algunas ventajas e inconvenientes. (P.9)

Ventajas:

- La desinfección con luz UV es eficaz para inactivar la mayoría de virus, esporas y quistes.
- Al ser un proceso físico, la desinfección con luz UV evita la necesidad de generar, manejar, transportar o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- No deja efectos residuales que puedan afectar a los seres humanos o a los organismos acuáticos.
- Es fácil de usar para los operadores.
- Requiere un tiempo de contacto breve comparado con otros desinfectantes.

  El equipo de desinfección con luz UV ocupa menos espacio que otros métodos.

Inconvenientes:

- Una dosificación insuficiente puede no inactivar de manera efectiva ciertos virus, esporas y quistes.
- Algunos microorganismos pueden resistir la luz UV (fotorreactivación).
- Se requiere un programa de mantenimiento preventivo para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz.
- La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual pueden reducir la eficacia de la desinfección con luz UV.
- Las lámparas UV de baja presión no son tan efectivas para efluentes secundarios con niveles de SST superiores a 30 mg/L.

2.2.5. Parámetros de control

Tiempo requerido.

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1999), la desinfección con luz UV requiere un período de contacto de aproximadamente 20 a 30 segundos con lámparas de baja presión.

pH

El pH tiene un impacto mínimo o nulo en la tasa de inactivación de microorganismos por radiación UV (EPA, 1996). Sin embargo, Malley, Shaw y Ropp (1996) sugieren que el pH podría afectar la eficiencia de desinfección debido a cambios en la capa de proteína de los microorganismos.

Concentración de sólidos

La EPA (1999) señala que el caudal, los sólidos suspendidos y coloidales, y la densidad bacteriana inicial son factores que determinan la cantidad de radiación UV que llega a los microorganismos. Valores muy altos de sólidos totales reducen la eficacia de la desinfección.

Turbidez

Veliz et al. (2018) recomiendan mantener la turbidez lo más baja posible, idealmente por debajo de 5 UNT, para mejorar la desinfección UV. Un tratamiento previo de filtración y adsorción puede reducir la turbidez y los sólidos en suspensión, como se observó en su estudio, donde la turbidez disminuyó de 24.7 a 5.4 UNT.

Temperatura

El valor de la temperatura del agua tiene leve o ningún impacto significativo en la eficiencia de la desinfección con radiación UV (USEPA, 1999).

Fotorreactivación

El poder de ciertos microorganismos para poder reactivarse tras la exposición a la luz UV se evalúa efectuando la ecuación de Lindenauer y Darby (1994). El porcentaje de fotorreactivación se calcula como:

Porcentaje de fotorreactivación

$$\%\boldsymbol{Fotorreactivación} = \frac{\mathbf{Nt-N}}{\mathbf{No-N}} * \mathbf{100}$$

Dónde:

No = Número de bacterias antes de la irradiación UV (CFU/ml).

N = Numero de bacterias luego de la irradiación UV (CFU/ml).

Nt = Número de bacterias después de la reactivación un transcurso de tiempo determinado (CFU/ml).

Tasa de supervivencia

Fiallos (2017) propone la siguiente expresión para determinar la tasa de supervivencia:

$$\boldsymbol{S = \frac{Nt}{No} \cdot 100\%}$$

Dónde: S = Tasa de supervivencia; No = Número de bacterias antes de la irradiación UV (UFC/ml); Nt = Número de bacterias después de la reactivación un transcurso de tiempo determinado (UFC/ml).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Desinfección

La desinfección es un proceso que busca eliminar o inactivar los microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales. Para ello, se utilizan agentes como membranas de filtración, radiación ultravioleta, procesos químicos, ozono y compuestos de cloro (Castellanos-Onorio et al., 2023).

2.3.2. Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es una forma de energía radiante que cubre longitudes de onda entre 100 y 400 nanómetros, con una energía aproximada de 12 eV (Polo-Bravo y Miranda-Espinosa, 2020).

2.3.3. Filtración

La filtración es un método utilizado para eliminar o retener sólidos suspendidos en las aguas residuales. Este proceso se realiza haciendo pasar el agua a través de capas sucesivas de materiales con diferentes granulometrías para retener los sólidos.

2.3.4. Caudal

El caudal es la cantidad de líquido que fluye por unidad de tiempo, expresada en unidades de volumen por unidad de tiempo, como litros por minuto (L/min) o metros cúbicos por segundo (m^3/s). Este parámetro es fundamental en hidráulica, ya que permite determinar la cantidad de agua que circula por una tubería o canal, lo cual es vital para el diseño y la gestión de estructuras hidráulicas (Gonzales, 2024).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación

La investigación actual se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín, situada en el sector de Pallac, distrito de Celendín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca (ver Figura 4).

3.1.1. Coordenadas geográficas

Este: 815333.85 m

Norte: 9242260.62 m

Altitud: 2605 m.s.n.m.

Datum: wgs84

Proyección: UTM

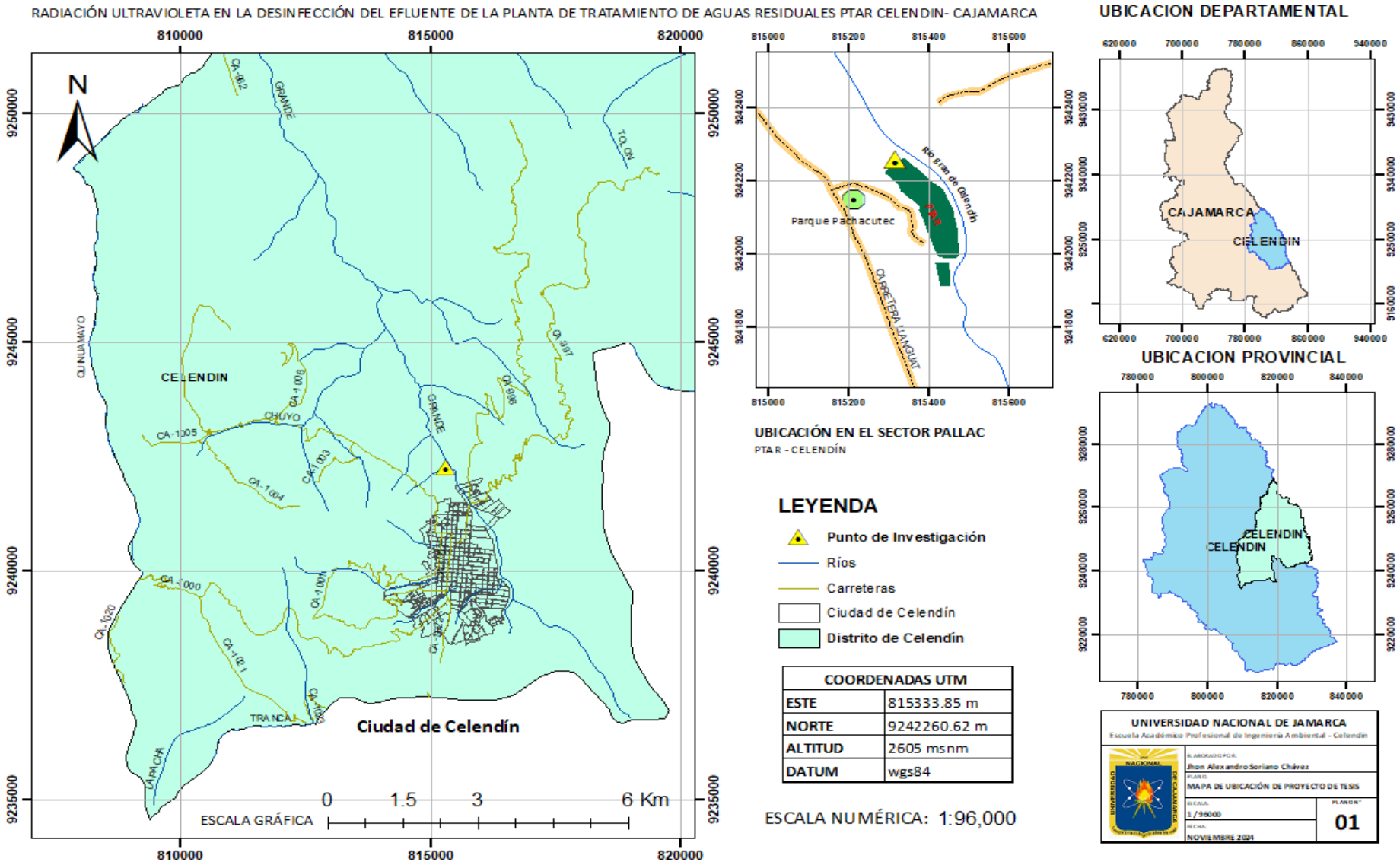
Zona: 17S.

3.2. Material experimental

- Agua residual del efluente de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Celendín.
- Filtros de sedimentos y carbón activado.
- Desinfección por radiación ultravioleta UV.

Figura 4

Mapa de ubicación de la zona de estudio



3.2.1. Materiales

- Tanque de 100 L.
- Cooler.
- Ice pack.
- Frascos para toma de muestras.
- Etiquetas para muestras.
- Cadenas de custodia.
- Alcohol desinfectante.
- Bata de laboratorio.
- Guantes quirúrgicos.

3.2.2. Equipos

- Portafiltro azul 2.5" x 10", 3/4" - con purga – con su base y llave.
- Filtro de sedimentos de 2.5"x10" de 5 micra, (marca hydronix, modelo: SDC - 25 – 1005).
- Filtro carbón activado de 2.5"x10" de 5 micra, (marca hydronix, modelo: CB - 25 – 1005).
- Electronivel de 3 metros werken modelo: FLO-01.
- Tanque de 100 L.
- Equipo UV, 2 GPM, 230V 50/60 HZ DE 16W (marca: hidrotek).
- Electrobomba 0.5HP (marca: werken, modelo: periférica).

3.3. Factor y variable independiente, niveles y tratamientos en estudio

Se realizó el experimento con 2 factores que fueron la filtración y la radiación ultravioleta en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.

Las variables, los factores y los niveles de estudio, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1

Factores y variables independientes

Factores		**Niveles**	
Caudal (L/min)	1.8	2.6	4
Filtro	Con Filtro	Sin filtro	

3.4. Diseño completamente al azar (DCA)

En el presente estudio se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), caracterizado por la asignación aleatoria de unidades experimentales a los tratamientos sin ninguna restricción. Esta aleatorización asegura que cada unidad experimental tenga la misma probabilidad de recibir cualquiera de los tratamientos, lo que permite controlar la influencia de variables extrañas y reducir el sesgo sistemático (Montgomery, 2017).

Se utilizaron 24 unidades experimentales, distribuidas en 6 tratamientos derivados de un diseño factorial 3 × 2, con 4 repeticiones por tratamiento, lo que proporciona una base adecuada para la estimación de la variabilidad y el posterior análisis de varianza.

Este diseño fue considerado adecuado dado que las unidades experimentales (muestras de efluente) eran homogéneas y no presentaban bloqueos ni estratificaciones que justificaran la aplicación de diseños más complejos como bloques completos al azar o cuadrado latino.

Tabla 2

Asignación aleatoria de unidades experimentales en el diseño completamente al azar (DCA) del presente estudio.

Tratamiento (T)	Descripción	N.º de repeticiones	Unidades experimentales
T1	Con filtro + 1.8 L/min	4	UE_1, UE_2, UE_3, UE_4
T2	Sin filtro + 1.8 L/min	4	UE_5, UE_6, UE_7, UE_8
T3	Con filtro + 2.6 L/min	4	UE_9, UE_{10}, UE_{11}, UE_{12}
T4	Sin filtro + 2.6 L/min	4	UE_{13}, UE_{14}, UE_{15}, UE_{16}
T5	Con filtro + 4.0 L/min	4	UE_{17}, UE_{18}, UE_{19}, UE_{20}
T6	Sin filtro + 4.0 L/min	4	UE_{21}, UE_{22}, UE_{23}, UE_{24}
Total	—	**24**	—

Nota: UE = Unidad experimental asignada aleatoriamente.

3.5. Arreglo factorial 3x2 del experimento

Según Gutiérrez y Vara (2012) la presente investigación es experimental con diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3 x 2:

El modelo de arreglo factorial, de acuerdo con los factores y niveles mencionados, está representado por la siguiente estructura:

Número de corridas: 3 x 2 = 6

Número total de unidades experimentales: 6 corridas x 4 repeticiones = 24 unidades experimentales.

Donde "3" es el número de niveles de caudal y "2" representa la presencia o ausencia de filtro. A continuación, se presenta un resumen del arreglo factorial en la Tabla 3, que ilustra las combinaciones de los factores y los tratamientos aplicados.

Arreglo factorial = 3 x 2

Tabla 3

Diseño factorial 3x2 del experimento

Tratamiento	Combinaciones	Radiación UV
T1	CF y 1.8 L/min	✓
T2	SF y 1.8 L/min	✓
T3	CF y 2.6 L/min	✓
T4	SF y 2.6 L/min	✓
T5	CF y 4 L/min	✓
T6	SF y 4 L/min	✓

Nota: CF = con filtro; SF = sin filtro y ✓= UV aplicado.

El afluente del sistema fue tratado a diferentes condiciones de caudales, con filtro (CF) y sin filtro (SF), más radiación ultravioleta, obteniéndose valores para T1, T2, T3, T4, T5 y T6; con 4 repeticiones como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4

Arreglo de tratamientos, niveles de factores y repeticiones en el diseño factorial 3 × 2

Tratamientos	**Filtro**	**Caudal(L/min)**	**Radiación Ultravioleta**
T0	NA	NA	✕
T1	CF	1.8	✓
	CF	1.8	✓
	CF	1.8	✓
	CF	1.8	✓
T2	SF	1.8	✓
	SF	1.8	✓
	SF	1.8	✓
	SF	1.8	✓
T3	CF	2.6	✓
	CF	2.6	✓
	CF	2.6	✓
	CF	2.6	✓
T4	SF	2.6	✓
	SF	2.6	✓
	SF	2.6	✓
	SF	2.6	✓
T5	CF	4	✓
	CF	4	✓
	CF	4	✓
	CF	4	✓
T6	SF	4	✓
	SF	4	✓
	SF	4	✓
	SF	4	✓

Donde NA: No aplica; CF: con filtro; SF: sin filtro y ✕ = UV no aplicado y ✓ = UV aplicado

3.6. Descripción del sistema de desinfección

El sistema de desinfección utilizado consta de consta de: Un tanque de almacenamiento, un filtro de sedimentos, un filtro de carbón activado, 2 cámaras de radiación ultravioleta.

3.6.1. Tanque de distribución

Constituido por un tanque elevado de agua de 100 L, Colocado a 2 metros de altura del suelo.

Figura 5

Instalación del tanque de distribución

3.6.2. Filtros

Filtro de sedimentos

El filtro de sedimentos es de 2.5" de diámetro por 10” de largo, adquiriendo una capacidad de remoción de sedimentos mayores a 5 micras, este filtro es de la marca hydronix, de modelo: SDC - 25 - 1005, hecho a base de polipropileno de una gama de temperatura de 4.4°C a 62.8°C para la remoción

Figura 6

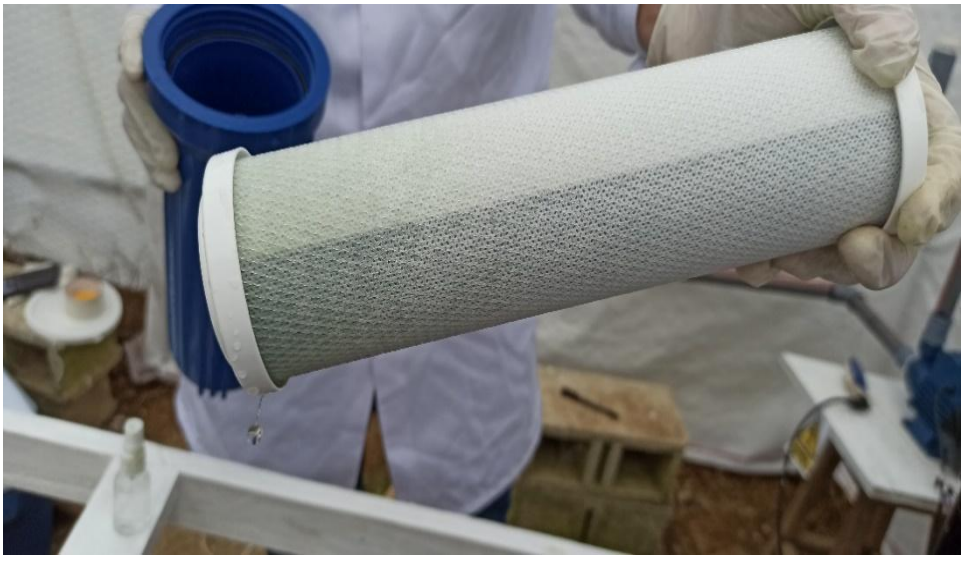
Filtro para sedimentos

Filtro de Carbón activado

El filtro de carbón activado es un dispositivo que está conformado por un material poroso de carbón activado que tiene la capacidad para adsorber o atraer las partículas o sustancias químicas contaminantes, la capacidad de diseño fue para un caudal de hasta 0.3155 litros/segundo.

Figura 7

Filtro para carbón activado.



Radiación ultravioleta

– La cámara de radiación ultravioleta está conformada por una lámpara germicida comercial de la marca hidrotek, con una dosis efectiva de 110.6mJ/cm2 ≈ 0.0264 langleys y una potencia de entrada de 16 W. Esta lámpara emite radiación a una longitud de onda de 254 nm y proporciona una dosis teórica de 1332.51, 922.50, 599.63 mJ/cm² (para caudales de 1.8, 2.6 y 4 L/min respectivamente).

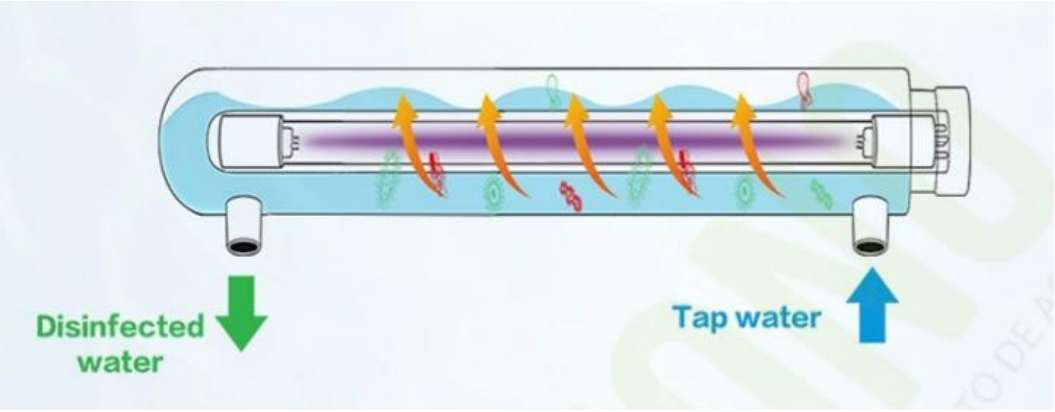
– El sistema está conformado por 2 lámparas de las mismas características, ubicadas en paralelo.

– La cámara de radiación ultravioleta está formada por las siguientes piezas: un cuerpo principal de acero, una tuerca de aluminio, un empaque de silicón, un sello de silicón, una manga de cuarzo (que protege la lámpara), la lámpara UV y un balastro eléctrico certificado por CE (que mantiene la corriente y limita el voltaje recibido por la lámpara).

– La instalación de las cámaras de radiación UV, inicia insertando el tubo de cuarzo dentro del cuerpo de acero. Luego, se ajusta con los sellos de silicona, seguido de enroscar las tuercas a los extremos. El balastro se conecta a la lampara UV y se coloca dentro de la manga de cuarzo, finalmente, se conecta a la corriente eléctrica para su funcionamiento.

Figura 8

Cámara de radiación UV.



Fuente: Ningbo Hidroteck LTD (2023)

Figura 9

Componentes de la cámara de radiación UV

A continuación, se presenta el resumen de las formulas y los cálculos teóricos de la dosis de radiación UV aplicada en cada caudal, expresada en mJ/cm² y langley**,** junto con el tiempo de retención hidráulica**,** para evaluar su relación con la eficiencia de desinfección.

Paso 1: Tiempo de retención hidráulica TRH

$$\boldsymbol{TRH\ (Seg) = \frac{V}{Q}}$$

Donde:

V = Volumen de la cámara de radiación UV

Q = Caudal de (en m^3/s)

Paso 2: Volumen de la cámara de radiación ultravioleta

La cámara de radiación UV es cilíndrica

$$\boldsymbol{V = \pi . r^2 . h}$$

Donde

r = radio (en metros)

h = longitud (en metros)

Paso 3: La intensidad

$$\boldsymbol{I = \frac{P}{A}}$$

Donde

I = Intensidad de radiación (W/cm^2 o mW/cm^2)

P = potencia de la lámpara (W)

A = Área efectiva de irradiación (cm^2)

Paso 4: Área lateral del cilindro

$$\boldsymbol{A = 2\,\pi . r . h}$$

Donde

r = radio del cilindro

h = altura del cilindro

Paso 5: Dosis de radiación UV

$\boldsymbol{D = I \times t}$ de donde $\boldsymbol{I = \frac{D}{t}}$

D = Dosis de radiación UV en mJ/cm^2

I = Intensidad de la lámpara en mW/cm^2

t = Tiempo de retención hidráulica

Paso 6: Conversión a langley

1 langley = 4184 mJ/cm^2

Tabla 5

Estimación de la dosis de radiación UV y tiempo de retención hidráulica según caudal aplicado

Caudal (L/min)	TRH (s)	Intensidad (mW/cm^2)	Dosis (mJ/cm^2)	Dosis (langley)
1.8	133.52	9.98	1332.51	0.3185
2.6	92.44	9.98	922.50	0.2205
4.0	60.08	9.98	599.63	0.1433

Equipos y materiales auxiliares

Electrobomba

La electrobomba usada es de marca werken, tiene una capacidad 0.5 hp, las conexiones para la tubería son de 1” de diámetro, ésta conectado a una tubería de purga que cumple la función de eliminar el aire que queda contenido en ella.

Figura 10

Instalación de la electrobomba de 0.5 HP

- **Uniones**

  Las uniones mixtas de 1”, ¾”, ½”, codos de 1”, ¾”, ½”

- **Válvulas**

  Válvulas de ¾”

- **Tuberías**

  Las tuberías empleadas en el experimento son de 1”, ¾”, ½”.

- **Electronivel**

  El nivel del agua es controlado de manera automática por este dispositivo electrónico, así mantener caudales óptimos del sistema.

Figura 11

Plano del experimento en planta

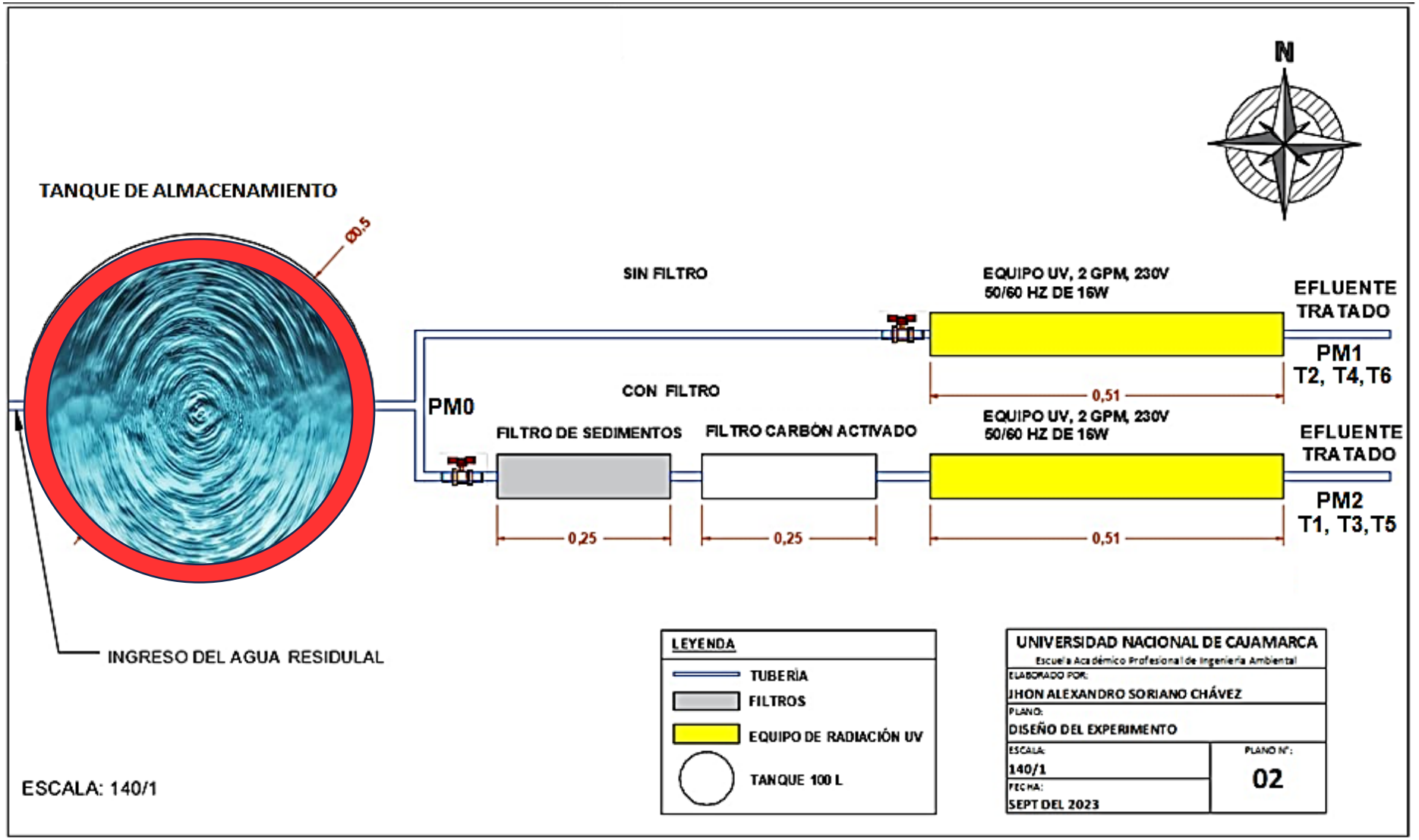


Figura 12

Sistema de desinfección instalado en el efluente de la PTAR Celendín

Descripción del sistema de desinfección

Con la finalidad de cumplir con todos los tratamientos, se operó del siguiente modo:

El sistema implementado operó para 24 unidades experimentales, distribuidas en 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. Sin embargo, se instalaron únicamente dos subsistemas: uno para el proceso de filtración con radiación UV y otro para el proceso sin filtración, pero con radiación UV.

- **Desinfección con filtro y radiación ultravioleta (T1, T3, T5)**

  T1: Con filtro + caudal de 1.8 L/min y UV aplicado

  T3: Con filtro + caudal de 2.6 L/min y UV aplicado

  T5: Con filtro + caudal de 4 L/min y UV aplicado

- **Desinfección sin filtro y radiación ultravioleta (T2, T4, T6)**

  T2: Sin filtro + caudal de 1.8 L/min y UV aplicado

  T4: Sin filtro + caudal de 2.6 L/min y UV aplicado

  T6: Sin filtro + caudal de 4 L/min y UV aplicado

3.7. Evaluaciones (Variable dependiente)

3.7.1. Puntos de monitoreo

Los puntos de muestreo se toman como sigue:

- PM0: Punto de muestreo antes del sistema de desinfección
- PM1: Punto de muestreo en el efluente con filtro y radiación UV.
- PM2: Punto de muestreo en el efluente sin filtro y radiación UV.

3.7.2. Parámetros evaluados

Se evaluaron la concentración de coliformes fecales (CF) y coliformes termotolerantes (CTT); se realizó de la siguiente manera.

Tabla 6 *Evaluaciones realizadas por día*

Subsistema	**Repetición**	**1.8 L/min**	**2.6 L/min**	**4L/min**
1° CF + UV	R1	Dia 1	Dia 1	Dia 1
	R2	Dia 2	Dia 2	Dia 2
	R3	Dia 3	Dia 3	Dia 3
	R4	Dia 4	Dia 4	Dia 4
2° SF + UV	R1	Dia 1	Dia 1	Dia 1
	R2	Dia 2	Dia 2	Dia 2
	R3	Dia 3	Dia 3	Dia 3
	R4	Dia 4	Dia 4	Dia 4

Los análisis experimentales de los parámetros fueron analizados en el laboratorio regional de Cajamarca acreditado por INACAL.

3.8. Análisis de datos

3.8.1. Cálculo de la observación 1 "Eficiencia de la desinfección del efluente de la PTAR"

Celendín

Promedio Aritmético

Para el cálculo de los promedios de los datos obtenidos se emplea la siguiente formula del promedio aritmético.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Donde:

$\bar{x}$ = Promedio aritmético.

x_i = Es el dato i del conjunto de datos.

n = Denota la cantidad global de datos.

Desviación estándar

La desviación estándar es una medida de variabilidad que indica que tan dispersos están los datos respecto a la media aritmética; el cálculo se efectúa mediante la siguiente formula.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

S = Desviación estándar.

X_i = Valor de cada dato individual.

$\bar{x}$ = Es la media muestral.

n = Denota la cantidad global de datos.

3.8.2. Filtración y radiación

Para evaluar el nivel de significancia de la radiación ultravioleta a diferentes caudales el modelo estadístico utilizado fue un diseño factorial 3 x 2 donde "3" es el número de niveles de caudal (1.8, 2.6 y 4 L/min) y "2" representa la presencia o ausencia de filtro. Este modelo estudió el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores, para ello es necesario elegir mínimo 2 niveles de prueba para cada factor. En un diseño factorial completo, se ejecutan todas las combinaciones posibles que pueden generarse a partir de los niveles de los factores a investigar. La matriz de puntos experimentales o tratamientos se elabora teniendo en cuenta todas las combinaciones. Para la presente investigación se tienen 3 niveles del factor caudal y 2 niveles del factor filtro (con filtro y sin filtro) para obtener el número de corridas experimentales se multiplica el número de tratamientos por el número de réplicas, donde una de estas se lleva a cabo cada vez que se corre el arreglo completo. En general, la familia de diseños 2^k consiste en k factores, todo con 2 niveles de prueba. (Gutiérrez y Vara, 2012, p116)

El modelo estadístico-matemático es el siguiente:

$$\textbf{Modelo estadístico - matemático} = \mathbf{2^k}$$

Donde:

K = es el número de factores

Así mismo de analizó la varianza, para ello se muestra las fórmulas que se especifican a continuación.

3.8.3. Análisis de la varianza ANOVA

Tabla 7

Formulaciones para el cálculo del análisis de varianza (ANOVA)

Fuentes de variación (F.V)	**Suma de cuadrados (S.C)**	**Grados de libertad (G.L)**	**Cuadrados medios (C.M)**	**F_0**
Tratamientos	$SC_{Tratamientos}$	K-1	$\frac{SC\ Tratamientos}{K-1}$	$\frac{SC\ tratamientoss}{SCerror}$
Error Exp.	SC_{Error}	N-K	$\frac{SC\ Error}{N-K}$	
TOTAL	SC_{Total}	N-1	–	

Fuente: Urrutia y Delucis (2020).

Puesto que hubo una significancia entre tratamientos, se procedió al cálculo del efecto principal FXD (Filtro y dosis).

Tabla 8

Formulaciones para el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) con arreglo factorial de 3x2

Fuente de variación	**Fórmula de Suma de Cuadrados (SC)**	**Grados de libertad (GL)**	**Cuadrado Medio (CM)**	**Valor F (F_0)**
Factor A (Caudal)	$SC_A = bn\sum_{i=1}^{a}(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{....})^2$	$a-1$	$CM_A = \frac{SC_A}{2}$	$F_A = \frac{CM_A}{CM_E}$
Factor B (Filtro)	$SC_B = an\sum_{j=1}^{b}(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{....})^2$	$b-1$	$CM_B = \frac{SC_B}{1}$	$F_B = \frac{CM_B}{CM_E}$
Interacción A × B	$SC_{AB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...})^2$	$(a-1)\,(b-1)$	$CM_{AB} = \frac{SC_{AB}}{2}$	$F_{AB} = \frac{CM_{AB}}{CM_E}$
Error experimental	$SC_E = \sum_{j=1}^{a}(Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})^2$	$ab\,(n-1)$	$CM_E = \frac{SC_E}{18}$	—
Total	$SC_T = \sum_{j=1}^{a}(Y_{.j.} - \bar{Y}_{....})^2$	$abn-1$	—	—

Nota. a = niveles del factor A (Caudal); b = niveles del factor B (Filtro); n = número de repeticiones por tratamiento. Adaptado de Montgomery (2017).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Eficiencia de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección

El afluente inicial (T0) presentó elevada carga microbiológica. Se aplicaron seis tratamientos con caudales de 1.8, 2.6 y 4.0 L/min, con y sin filtración, más radiación UV. Los datos de la tabla 9 son promedios de cuatro repeticiones, cuyos resultados completos emitidos por el laboratorio regional de Cajamarca figuran en el Anexo 2. Se lograron eficiencias de hasta 99.950 % en coliformes totales y superiores al 99.987 % en termotolerantes.

Tabla 9

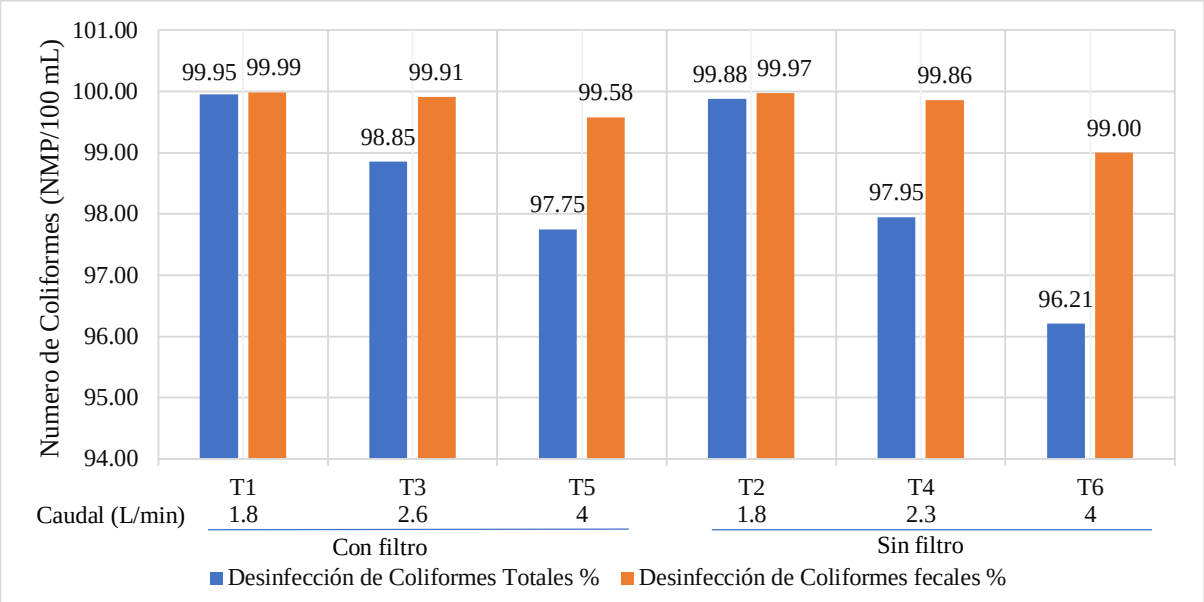
Eficiencia de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección del efluente de la PTAR Celendín.

Tratamiento	Radiación Ultravioleta	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Desinfección de Coliformes Totales %	Desinfección de Coliformes Termotolerantes %
T0: NA	✗	$2{,}4x10^6$	$2{,}4x10^6$	NA	NA
T1: CF + 1.8 L/min	✓	1205	297.5	99.950	99.987
T2: SF + 1.8 L/min	✓	2825	660	99.882	99.973
T3: CF + 2.6 L/min	✓	27500	2175	98.854	99.909
T4: SF + 2.6 L/min	✓	49250	3400	97.948	99.858
T5: CF + 4.0 L/min	✓	54000	10100	97.750	99.579
T6: SF + 4.0 L/min	✓	91000	24000	96.209	99

Fuente: Informe de ensayo del Laboratorio Regional de Cajamarca; CF: con filtro; SF: sin filtro y ✗ = UV no aplicado y ✓ = UV aplicado, NA = No aplica

Figura 13

Eficiencia de la filtración y radiación ultravioleta en la desinfección del efluente de la PTAR Celendín.



En la figura 13 se observa que tanto la filtración como la radiación ultravioleta, aplicada a diferentes caudales, presentaron una alta eficiencia en la desinfección de coliformes. Los tratamientos con caudales de 1.8, 2.6 y 4.0 L/min correspondieron a tiempos de retención hidráulica (TRH) de 133.52, 92.44 y 60.08 segundos, respectivamente. A partir de estos valores se obtuvo la dosis de radiación ultravioleta de 1332.51, 922.50 y 599.63 mJ/cm², equivalentes a 0.3185, 0.2205 y 0.1433 langley. El tratamiento más eficaz se alcanzó con un caudal de 1.8 L/min con una dosis de 1332.51 mJ/cm², que, en combinación con la filtración, permitió remover el 99.95 % de coliformes totales y el 99.99 % de coliformes termotolerantes.

La variación entre tratamientos se debe a que las partículas fueron adheridas e interceptadas en los filtros de polipropileno y de carbón activado, donde a menor caudal las partículas tienden a sedimentarse en el lecho filtrante, generando una mayor adherencia. En contraste, a mayor caudal, las partículas no soportan la fuerza de arrastre del flujo, reduciendo la efectividad de la filtración. Como resultado, el agua pasa más clarificada, permitiendo que

la radiación UV actúe de manera más directa sobre los coliformes, incrementando su eficiencia en la desinfección.

Estos hallazgos coinciden con Chambi Laura (2021), quien demostró que el uso de radiación ultravioleta logró remociones de 99.99 % para coliformes totales y 99.82 % para coliformes termotolerantes. Asimismo, Gonzales Ortiz (2019) evidenció que una menor concentración de sólidos suspendidos mejora notablemente la eficiencia de la desinfección por radiación UV expresado en unidades de mJ/cm^2.

Por otro lado, se observó que, al aumentar los caudales, el tiempo de retención hidráulica disminuye, reduciendo el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y, por ende, la eficiencia del proceso. En condiciones de menor caudal, la mayor exposición a la radiación favorece la inactivación bacteriana. En línea con esto, Calderón Landy (2014) evidenció que a un caudal de 3.61 mL/s y un tiempo de exposición de 5 segundos, se logró remover el 100 % de coliformes totales, mientras que, al incrementar el caudal, la remoción se redujo debido a la menor exposición.

Durante el tratamiento, la radiación UV-C provocó la formación de dímeros de timina en el ADN bacteriano, impidiendo su replicación y causando su inactivación. Este efecto fue más eficiente a menor caudal, debido al mayor tiempo de retención y contacto con la radiación. En caudales elevados, la menor exposición redujo la formación de dímeros, disminuyendo la efectividad del proceso.

4.1.1. ANOVA para la eficiencia de remoción de Coliformes Totales

La Tabla 10 presenta los datos de porcentaje de desinfección utilizados para el análisis de varianza (ANOVA), en función de los caudales (1.8, 2.6 y 4.0 L/min), el tipo de filtración (con filtro y sin filtro) y las cuatro repeticiones por tratamiento.

Tabla 10

Datos base utilizados para el análisis de varianza (ANOVA) de la desinfección de coliformes totales (%) según caudal, tipo de filtro y repeticiones.

Caudal (L/min)	Filtro	Radiación UV	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
1.8	CF	✓	99.942	99.962	99.942	99.954
1.8	SF	✓	99.883	99.883	99.854	99.908
2.6	CF	✓	99.000	98.542	99.333	98.542
2.6	SF	✓	97.750	98.542	97.750	97.750
4.0	CF	✓	97.750	97.750	97.750	97.750
4.0	SF	✓	97.083	96.167	95.417	96.167

Nota. Los datos corresponden a los porcentajes de desinfección observados en cada combinación de tratamiento (caudal × filtro), con cuatro repeticiones por tratamiento (Anexo 2), ✓ = UV aplicado.

Tabla 11

Análisis de varianza ANOVA para coliformes totales

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CAUDAL	2	34.510	17.2548	134.32	0.000
FILTRO	1	4.219	4.2193	32.85	0.000
CAUDAL*FILTRO	2	2.185	1.0925	8.50	0.003
Error	18	2.312	0.1285		
Total	23	43.226			

Coeficiente de variación: 0.36%

En la Tabla 11 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA), donde los valores de significancia (p = 0.000, 0.000 y 0.003) son inferiores al nivel establecido de 0.05. Esto indica la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados, lo cual constituye evidencia suficiente para aceptar la hipótesis alterna. En consecuencia, se concluye que tanto la filtración como la radiación ultravioleta a diferentes caudales influyen de manera significativa en la desinfección de coliformes totales en el

efluente de la PTAR Celendín. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por López Torres (2017), quien demostró que el uso combinado de filtración por retención y carbón activado, seguido de radiación UV, logró eliminar la presencia de coliformes. Este resultado se explica porque la eliminación de sólidos suspendidos mediante la filtración incrementa la claridad del agua, facilitando una mayor penetración y eficacia de la radiación UV sobre los coliformes totales y termotolerantes.

Asimismo, los resultados concuerdan con los de Veliz Flores (2015), quien evaluó el efecto de la radiación UV en muestras de agua filtrada y sin filtrar. En su estudio, se observó una remoción de 54 628 NMP/100 mL en muestras sin filtración, mientras que, en las muestras filtradas previamente, la remoción fue mucho más efectiva, con tan solo 81 NMP/100 mL de coliformes remanentes.

Finalmente, es importante destacar que el coeficiente de variación (CV) obtenido fue de 0.36 %, lo cual refleja una variabilidad muy baja entre las repeticiones por tratamiento. Este resultado evidencia una alta precisión experimental y respalda que las diferencias observadas son consecuencia directa de los factores analizados y no de errores aleatorios.

Además, a diferencia de otros estudios, este trabajo evaluó de forma conjunta el efecto del caudal y la filtración sobre la eficiencia del sistema UV, usando un equipo comercial simple. El aporte principal es que se determinó cómo el tiempo de retención y la calidad del agua influyen en la desinfección, aportando datos aplicables a sistemas reales con alta precisión experimental (CV = 0.36 %).

Regresión lineal para el porcentaje de desinfección de coliformes totales.

En la tabla 12 se presenta el resumen del modelo de regresión lineal, donde el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) es de 93.16 %, valor que indica un buen ajuste del modelo. Esto refleja una fuerte relación entre las variables analizadas y una alta precisión en los datos agrupados.

Tabla 12

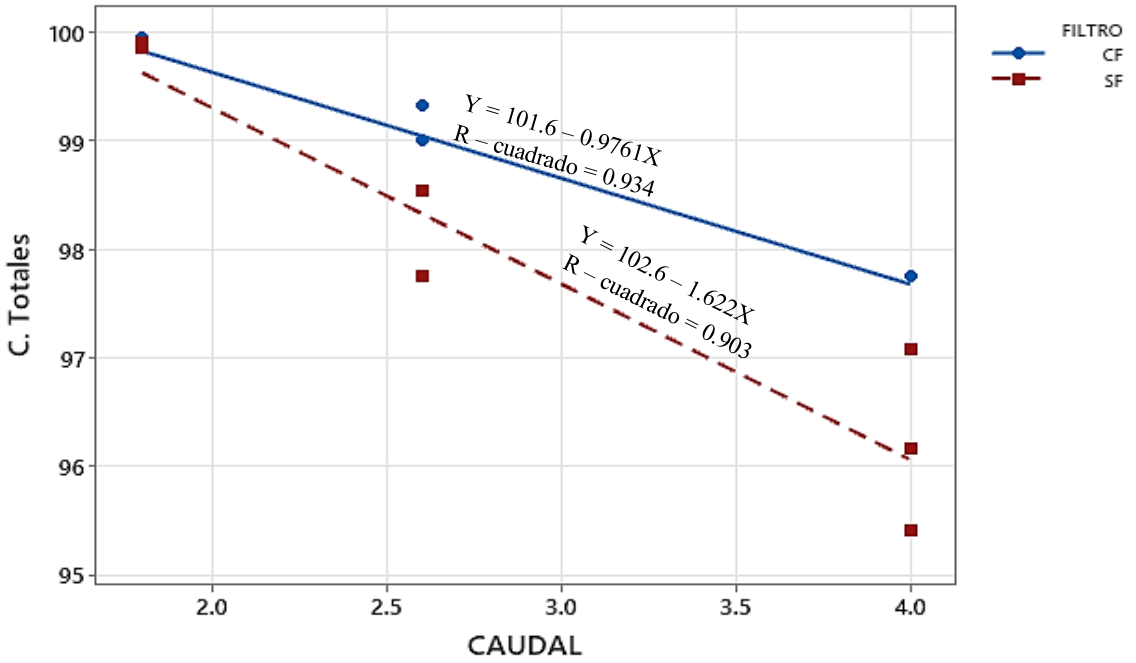
Regresión lineal

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.358415	94.65%	93.16%	90.49%

Fuente: Datos procesados en el Software Minitab.

Figura 14

Grafica de dispersión de coliformes totales.



Fuente: Datos procesados en el Software Minitab.

En la figura 14 se observa una relación lineal negativa entre el caudal y el porcentaje de remoción de coliformes totales. Este comportamiento se explica porque, al incrementarse el caudal, disminuye el tiempo de retención hidráulica, lo que reduce el tiempo de exposición a la radiación UV-C y, por ende, la formación de dímeros de timina en el ADN bacteriano, responsables de su inactivación. Asimismo, la filtración previa mejora la transmitancia del agua, permitiendo una acción más eficiente y directa de la radiación sobre los microorganismos.

4.1.2. ANOVA para la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes.

Tabla 13

Datos base utilizados para el análisis de varianza (ANOVA) de desinfección de coliformes termotolerantes (%) según caudal, tipo de filtro y repeticiones.

Caudal (L/min)	Filtro	Radiación UV	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
1.8	CF	✓	99.985	99.985	99.995	99.984
1.8	SF	✓	99.980	99.954	99.971	99.985
2.6	CF	✓	99.929	99.942	99.883	99.883
2.6	SF	✓	99.883	99.862	99.883	99.804
4.0	CF	✓	99.708	99.804	99.804	99.000
4.0	SF	✓	98.542	99.333	99.000	99.125

Nota**:** *Los datos corresponden a los porcentajes de desinfección observados en cada combinación de tratamiento (caudal × filtro), con cuatro repeticiones por tratamiento (Anexo 2),* ✓ = UV aplicado*.*

Tabla 14

Análisis de varianza ANOVA para coliformes termotolerantes

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CAUDAL	2	2.2370	1.11849	25.26	0.000
FILTRO	1	0.2773	0.27735	6.26	0.022
CAUDAL*FILTRO	2	0.3988	0.19941	4.50	0.026
Error	18	0.7971	0.04428		
Total	23	3.7102			

Coeficiente de variación: 0.21

En la tabla 14 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA), donde los valores p (0.000, 0.022 y 0.026) resultaron menores al nivel de significancia establecido (0.05). Esto indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, lo cual respalda la aceptación de la hipótesis alterna. En

consecuencia, se infiere que tanto el caudal como el tipo de filtración influyen significativamente en la desinfección por radiación ultravioleta (UV) de coliformes termotolerantes.

Este comportamiento se refleja en los elevados porcentajes de remoción obtenidos, alcanzando eficiencias de hasta 99.995%. Estos resultados son consistentes con los reportados por Caracela & Tapia (2022), quienes aplicando radiación UV lograron reducciones superiores al 99.75% para coliformes termotolerantes. Asimismo, se alinean con lo expuesto por Chambi Laura (2021), quien evidenció mediante ensayos experimentales una eficiencia de remoción del 99.82% bajo condiciones similares.

Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) calculado fue de 0.21%, valor que refleja una variabilidad mínima entre las repeticiones de cada tratamiento. Este resultado respalda la alta precisión del experimento, indicando que las diferencias observadas en la desinfección son reales y no atribuibles a fluctuaciones aleatorias o errores experimentales.

Regresión lineal para el porcentaje de desinfección de coliformes termotolerantes.

En la Tabla 15 se muestra el resumen del modelo de regresión lineal, donde el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) es de 72.55 %, lo cual representa un ajuste aceptable del modelo y evidencia una buena relación entre las variables analizadas y el porcentaje de desinfección.

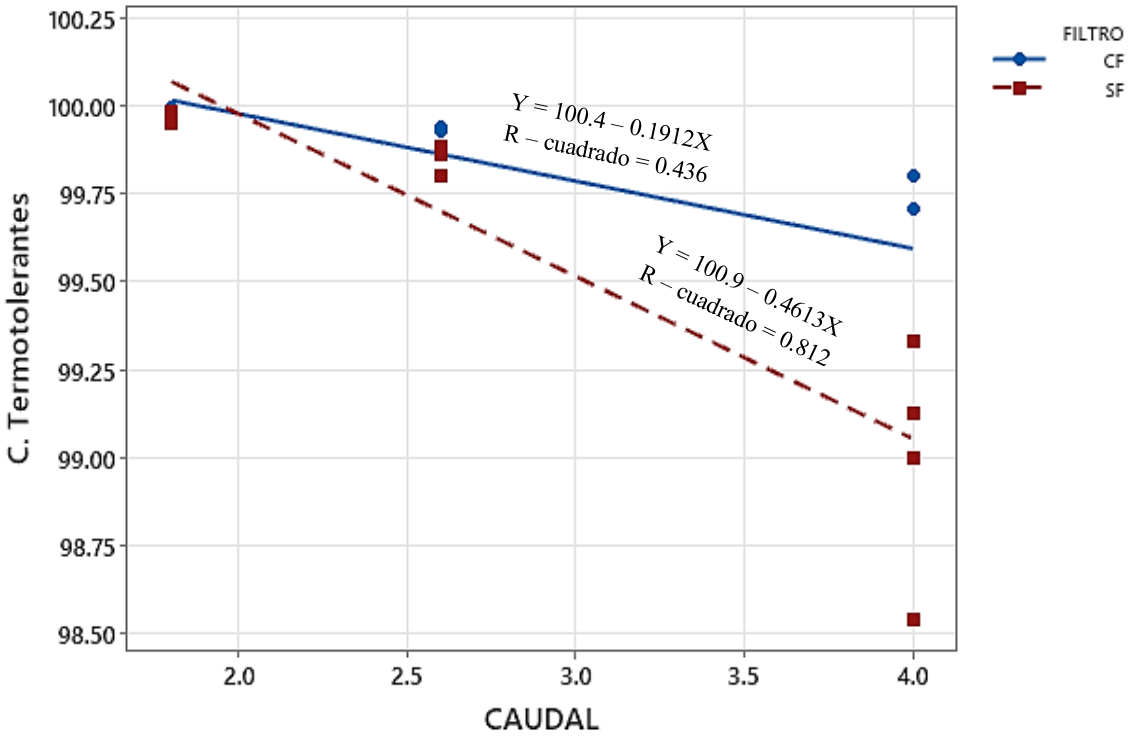
Tabla 15

Regresión lineal.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.210432	78.52%	72.55%	61.81%

Figura 15

Grafica de dispersión de coliformes termotolerantes



Fuente: Datos procesados en el Software Minitab.

En la Figura 15 se observa una relación lineal negativa entre el caudal y el porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes. Físicamente, este comportamiento se explica porque, al aumentar el caudal, la velocidad del flujo también se incrementa, reduciendo el tiempo de retención hidráulica dentro de la cámara de radiación. Como consecuencia, los microorganismos permanecen menos tiempo expuestos a la radiación UV-C, lo que disminuye la probabilidad de absorción de fotones y, por ende, la formación de dímeros de timina en el ADN, responsables de su inactivación.

Por otro lado, la filtración previa elimina sólidos suspendidos y reduce la turbidez, lo que mejora la transmitancia óptica del agua. Esto permite que la radiación penetre con mayor profundidad y de manera más uniforme, aumentando la interacción entre la radiación UV y los coliformes. Producto de estas condiciones más estables, los valores de remoción se distribuyen de forma más consistente, tendiendo a agruparse cerca de la media aritmética.

4.2. Efectos de la filtración en la turbidez, OD, pH y Conductividad

En la tabla 16 se presenta los datos de las muestras tomadas en campo, para los valores de pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y turbidez.

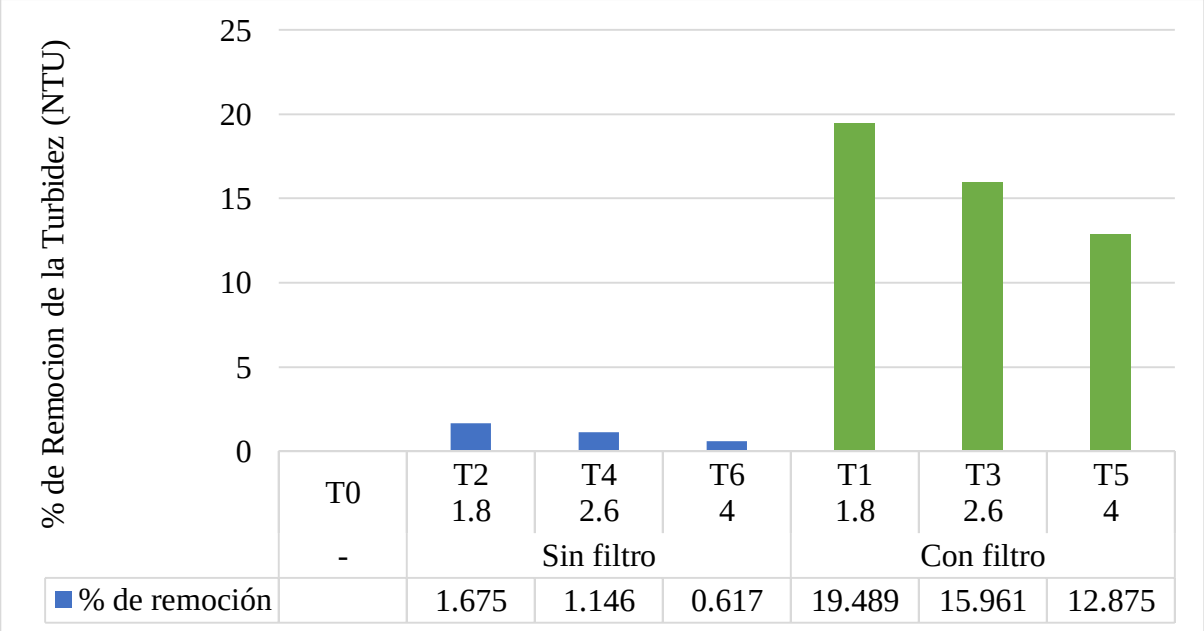
Tabla 16

Valores de temperatura, Oxígeno Disuelto, pH y conductividad en los tratamientos.

Filtración	Tratamientos	Caudal (L/min)	pH	T° (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad	Turbidez NTU	% de remoción
-	T0	-	6.59	20	0.37	1031	113.4	
	T2	1.8	6.73	19.7	0.73	1031	111.5	1.675
Sin filtro	T4	2.6	6.7	19.7	0.74	1032	112.1	1.146
	T6	4	6.7	19.8	0.57	1035	112.7	0.617
	T1	1.8	6.73	19.6	0.60	1037	91.3	19.489
Con filtro	T3	2.6	6.73	19.7	0.65	1037	95.3	15.961
	T5	4	6.68	19.7	0.83	1042	98.8	12.875

Figura 16

Turbidez vs con filtro y sin filtro.

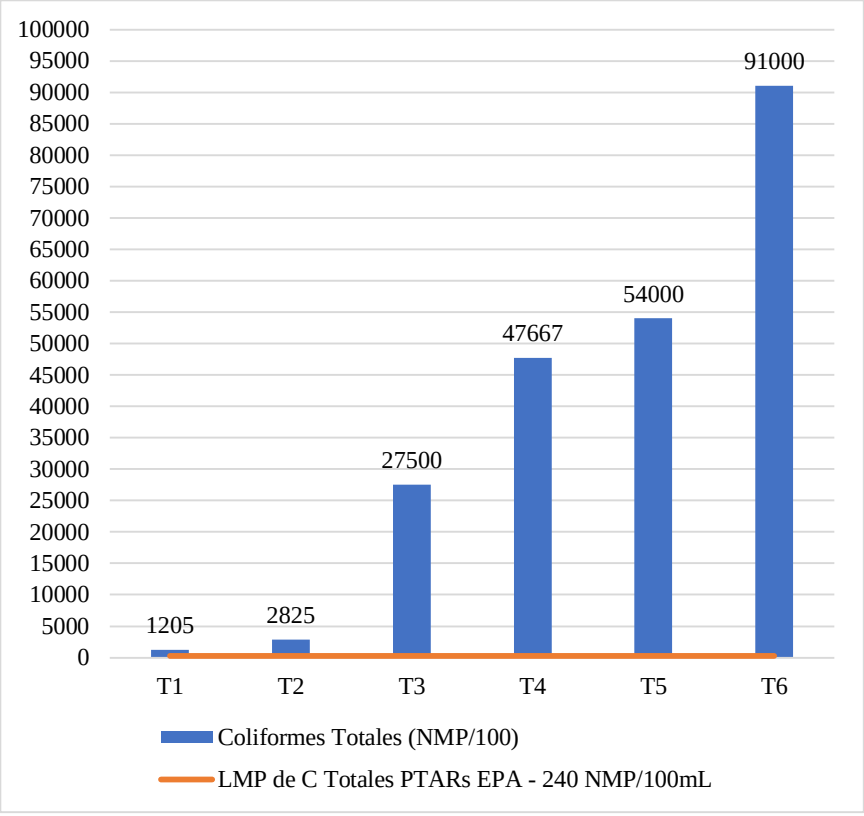


En la figura 16 se evidencia que al aplicarse un caudal de 1.8 L/minuto, en conjunto con los filtros de 5 micras, presentan mayor eficiencia de remoción de la turbidez con un valor de 19.489%. Dicho valor se relaciona con la cantidad de sólidos totales y suspendidos menores a 5 micras. Deduciendo así que a aún menor caudal, se produce mayor remoción de la turbidez. Este fenómeno es generado por la captación o adhesión de los sólidos en las paredes o poros de los filtros de 5 micras, mejorando así la eficiencia de la desinfección por la radiación ultravioleta en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín, yendo de la misma línea con el autor Vera - Marmanillo (2021), donde logró remover la turbidez de 18.8 NTU en un antes a 14.4 NTU hasta un después de la filtración de agua residual y someter a la radiación ultravioleta.

4.3. Cumplimiento del efluente con el LMP para uso en riego de vegetales

Figura 17

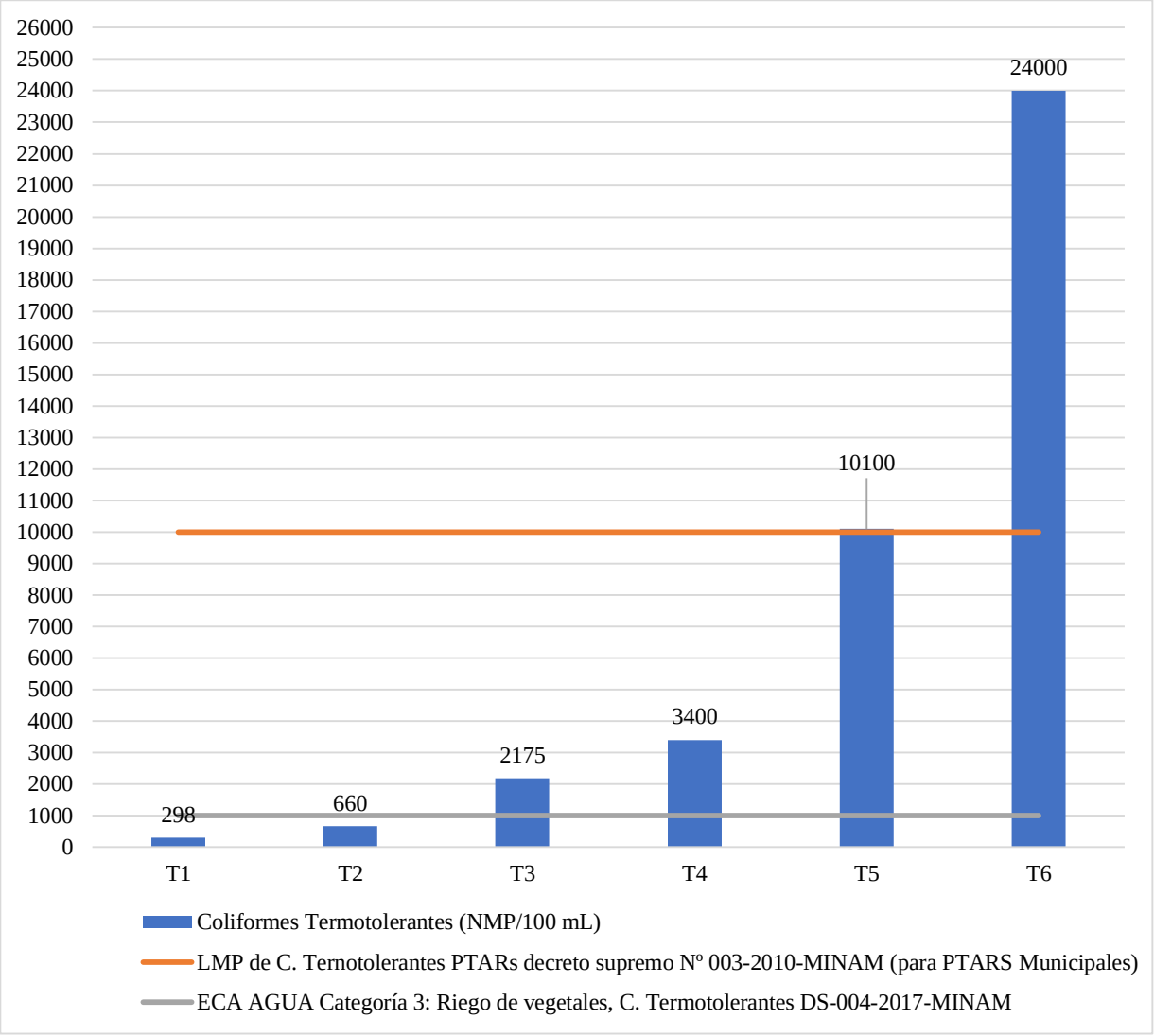
Comparación del promedio de las repeticiones de cada tratamiento en coliformes totales con los LMP de la Agencia de protección Ambiental EPA.



Como se observa en la figura 17, todos los valores promedio de coliformes totales superan el límite máximo permisible de 240 NMP/100 mL, establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2012) para el reúso de aguas tratadas en riego agrícola sin restricciones. En el caso Peruano, actualmente no existe una normativa nacional específica que regule este parámetro para fines de reúso agrícola, por lo que se toma como referencia este estándar internacional. Esto evidencia que el efluente tratado aún no cumple con los requisitos mínimos de calidad para uso agrícola directo, por lo que se requieren mejoras en el sistema de tratamiento para garantizar su inocuidad.

Figura 18

Comparación del promedio de las repeticiones de cada tratamiento en coliformes termotolerantes con los LMP y ECA para el riego de vegetales.



Comparación del promedio de las repeticiones de cada tratamiento en coliformes termotolerantes con los LMP y ECA para el riego de vegetales.

En la Figura 18 se observa que los promedios de coliformes termotolerantes de los tratamientos T1 (298 NMP/100 mL) y T2 (660 NMP/100 mL) se encuentran por debajo del valor establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en categoría 3 – riego de vegetales de consumo crudo, definidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, cuyo límite es 1,000 NMP/100 mL. Por tanto, estos tratamientos serían aptos para el riego agrícola sin restricciones en lo que respecta al parámetro de coliformes termotolerantes.

En contraste, los tratamientos T3, T4, T5 y T6 superan este límite, lo que indica que, en estos casos, el agua no es apta para el riego agrícola sin restricciones, al menos según este parámetro microbiológico.

Asimismo, los tratamientos T5 y T6 también exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, lo que los clasifica como altamente contaminantes para su vertimiento directo en cuerpos de agua naturales. Por el contrario, los tratamientos T1, T2, T3 y T4 sí cumplen con estos LMP, por lo que su efluente puede considerarse de buena calidad para descarga en cuerpos receptores.

Cabe precisar que, aunque el parámetro de coliformes termotolerantes es uno de los indicadores más utilizados para evaluar la calidad microbiológica del agua, no es el único criterio para declarar su aptitud para reúso agrícola. Deben considerarse también otros parámetros como sólidos suspendidos totales, turbidez, nutrientes (N y P), metales pesados y, dependiendo del caso, otros microorganismos patógenos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La aplicación conjunta de filtración y radiación ultravioleta (UV-C) tuvo un efecto significativo en la desinfección del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), alcanzando eficiencias de remoción de hasta 99.95 % en coliformes totales y 99.99 % en coliformes termotolerantes, demostrando un desempeño óptimo bajo condiciones controladas.
- La carga microbiana inicial del afluente, correspondiente a 2.4×10^6 NMP/100 mL, se redujo a 1,205 NMP/100 mL en coliformes totales y 297.5 NMP/100 mL en termotolerantes, confirmando que menores caudales y el uso de filtración previa favorecen la eficacia germicida de la radiación UV.
- El Tratamiento 1, con un caudal filtrado de 1.8 L/min, presentó la mayor remoción de turbidez, alcanzando un valor de 19.489 %, lo que sugiere que un flujo menor permite mayor retención de sólidos y mejor penetración de la radiación.
- Los valores de coliformes termotolerantes en los tratamientos más eficientes no superaron los límites establecidos por el D.S. N.º 003-2010-MINAM ni por el D.S. N.º 004-2017-MINAM, indicando que el efluente tratado puede ser reutilizado en agricultura sin restricciones, bajo condiciones operativas adecuadas.

5.2. Recomendaciones

Para optimizar la desinfección del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, se recomienda implementar filtros con menor diámetro de porosidad, tanto en el filtro de sedimentos como en el de carbón activado. Esta mejora permitirá una mayor retención de algas y sólidos en suspensión antes del proceso de desinfección por radiación ultravioleta.

Asimismo, se sugiere el uso de tecnologías de filtración con limpieza automática, ya que la acumulación de algas puede saturar los filtros a mediano plazo. También se recomienda evitar el contacto directo del agua con los tubos de cuarzo que contienen las lámparas UV, debido a que las algas pueden adherirse a sus paredes, disminuyendo la eficiencia de la radiación. Se debe garantizar una limpieza continua de estos elementos.

Dado que se identificó una relación inversa entre el caudal y la eficiencia de desinfección, se aconseja operar el sistema con caudales más bajos. Esto permite un mayor tiempo de retención hidráulica y, por tanto, una mejor exposición de los microorganismos a la radiación UV-C.

Finalmente, se recomienda el uso de lámparas UV de mayor potencia, con el fin de asegurar una dosis germicida suficiente para lograr la inactivación total de microorganismos. Esto contribuirá a cumplir con los estándares internacionales para el reúso del agua en riego agrícola sin restricciones, mejorando así la calidad del efluente tratado en la PTAR de Celendín.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales con Luz Ultravioleta.* https://www3.epa.gov/npdes/pubs/cs-99-063.pdf

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (2006). *Manual de orientación sobre desinfección ultravioleta para la norma de tratamiento mejorado de aguas superficiales.*

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA]. (1996). *Tecnología de desinfección con luz ultravioleta en aplicaciones de agua potable*. https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/estableciendo.html

Agua limpia (2023). *Filtro de sedimentos Hidronik.* Perú. https://www.agualimpia.mx/products/filtro-de-agua-para-sedimento-marca-hydronix-5-micras-2-5-x-10-pulgadas

Alabaster, G; Dzikus, A y Otieno, P. (2017) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017.* Unesco. Francia.

Arboleda, J. (2000*). Teoría y práctica de la purificación del agua.* MacGrawHill.

Arias, F. (2006). *Proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica.* Episteme..

Beltrán Zarza, N. A. (2006). *Aplicación de luz ultravioleta para la desinfección de efluentes secundarios con alto contenido de patógenos* [Tesis doctoral, Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional - Universidad

Nacional Autónoma de México. https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000612246/3/0612246.pdf

Beltran, N & Jiménez, B. (2000). *Eficiencia de la luz ultravioleta para la desinfección de agua residual con alto contenido de patógenos*. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/267789004_eficiencia_de_la_luz_ultravioleta_para_la_desinfeccion_de_agua_residual_con_alto_contenido_de_patogenos

Berbet, M. (2023). *Evaluación de sistemas de filtración con base textil* [tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Catalunya]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/397788/Memoria%20TFG%20Maria%20Berbet.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Gatto, G. J. (2015). *Bioquímica* (8.ª ed.). Reverté.

Bernal, C. (2006). *Metodología de la investigación.* Pearson.

Briones García, L. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de Coliformes totales, Fecales y Escherichia coli, en Celendín – Cajamarca* [Tesis de pregrado, Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3459/TESIS%20LENIN%20BRIONES%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Calderón Landy, G. R. (2014). *Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta* [Tesis de pregrado, carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7256/1/UPS-CT004152.pdf

Caracela Ccancce, J. V. & Tapia Oliveros, J. F. (2022). *Tratamiento de las aguas de riego del Río Surco mediante radiación ultravioleta* [Tesis de pregrado, Ingeniería Química,

Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional del Callao. https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7670/TESIS-CARACELA-TAPIA.pdf?sequence=1

Castellanos-Onorio, O; Díaz-González1, M; López-Ramírez, M; López-Ramírez, M; González-Gómez, G; Sánchez-Mota, L y Rodríguez, G. (2023). Uso del ozono como agente oxidante en la desinfección de aguas. https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2023/11/4_47_uso-del-ozono-como-agente-oxidante-en-la-desinfeccion-de-aguas.-una-revision.pdf

Cervantes Sandoval, A., & Marques Dos Santos, M. J. (2007). *Diseño de Experimentos.* México.

Chambi Laura, V. N. (2021). *Evaluación experimental del uso de la radiación ultravioleta en la descontaminación bacteriana de las aguas del río chili* [Tesis Doctoral, Ciencias y tecnologías medioambientales, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/175f1611-becf-4bfd-8b47-bb4118e9f1b9/content

Cristóbal, F. (2005). *Descripción hidráulica de los filtros de planta.* https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/cristobal_ef/cap02.pdf

Escobar Peñafiel, F. L. (2018). *Análisis del carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de un camal ubicado en el barrio El Porvenir del cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil]*. https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27017

Espigares García, M. y Pérez López, J. A. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada.

Falcón Pazmiño, G. V. (2017). *Análisis del carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria láctea "Monteverde" en el barrio Rocafuerte cantón de Píllaro provincia de Tungurahua [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil]*. https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/26859

Fiallos, R. (2017). *Tasa de supervivencia y reactivación.* Mc Learning.

Gonzales Ortiz, Y. (2019). *Evaluación del comportamiento de un sistema UV para desinfección de un efluente que proviene de un humedal construido* [Tesis de Pregrado, Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad de Concepción]. http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3582/4/Tesis_Evaluacion_del_comportamiento%20.Image.Marked.pdf

Gonzales, H. (2019). Manual del carbón activo.

Gonzales, R. (2024). EL caudal hidráulico. https://conceptopedia.de/caudal/

Gutiérrez, H y Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos.* McGrawHill https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/397788/Memoria%20TFG%20Maria%20Berbet.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Jiménez Navas, M. N. (2016). *Evaluación de un filtro artesanal del efluente de una lavadora de autos a base de bagazo de caña de maíz, aserrín, ceniza de carbón vegetal y grava [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil]*. https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/24179

Lema, M. (2015). *Diseño e implementación de un sistema automático de purificación de agua por medio de energía, reflexión solar y luz ultravioleta* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/321082570_Diseno_e_Implementacion_de_

un_Sistema_Automatico_de_Purificacion_de_Agua_por_medio_de_Energia_Reflexion_Solar_y_Luz_Ultravioleta

López Torres, S. D. (2017). *Tratamiento de agua para el consumo humano con radiación UV, para la inactivación de coliformes* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional - Universidad Técnica de Ambato. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25149

Manotupa Cueva, E. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de potabilización de agua de lluvia mediante un esterilizador ultravioleta* [Tesis de pregrado, Ingeniería Electrónica, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Católica del Perú. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7751

Martínez castillo, C. (2020). *Diseño de un reactor fotocatalítico para la degradación de contaminantes emergentes presentes en el efluente de una Estación Depuradora de Aguas Residuales* [Tesis de pregrados, Ingeniería Química, Universitat Jaume I]. Repositorio Institucional. https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/189369/TFG_2020_Martinez_Castillo_Carla.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mc Cabe W. L., Smith J.C., Harriott P. (2002). Operaciones básicas de ingeniería química. Mc Graw Hill.

Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización.* Mcgrawhill. https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments (9th ed.)*. John Wiley & Sons.

Moreno Benavídes, J. A. (2012). *Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda.* https://red.uao.edu.co/entities/publication/2e8d6a48-8e37-4f90-998a-757dc518dc5a

Murillo Hernández, W. J. (2008). *La investigación científica.* Monografías. http//www.monografias.com/ trabajos15/invest-científica/investcientífica.shtm

Ningbo Hidroteck LTD. (2023). *Ficha técnica de lámparas Hidrotek.* Perú.

Ocampo, B; Vázquez, G; Martínez, S; Iturbe, U y Coronel, C. (2022). *Desinfección del agua.* Hidalgo. Mexico.

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (1998). *Guías para calidad del agua potable*. Ginebra. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (20 de febrero de 2018). *Salmonella (no tifoidea).* https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal)

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (7 de febrero de 2018). *Escherichia coli.* https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli#:~:text=E.%20coli%201%20Panor%C3%A1mica%20Escherichia%20coli%20%28E.%20coli%29,Prevenci%C3%B3n%20...%205%20Respuesta%20de%20la%20OMS%20

Osorio Robles, F; Torres Rojo, J. C. y Sánchez Bas, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes.* Ed. Díaz Santos. Madrid.

Osorio, R., González, L., & Alvarado, D. (2010*). Fundamentos de la radiación electromagnética.* Editorial Académica Española.

Peñafiel García, P. (2010). *Carbón activado.* Revista Vinculando. https://vinculando.org/wp-content/uploads/kalins-pdf/singles/que_es_un_filtro_de_carbon_activado.pdf

Planck, M. (1901). *On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum*. Annalen der Physik, 4(553), 1–20.

Polo-Bravo, C y Miranda-Espinosa, G. (2020). *Cuantificación y caracterización de la radiación ultravioleta-b.* Vol.30. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2309-04132020000100043

Portugal Yagua, J. A., & Sosa Gomez, L. M. (2023). *Eficacia del filtro con carbón activado a base del bagazo de la caña de azúcar para la mejora de las características organolépticas del agua en la poza de la Asociación de Villa Hidropónica a nivel laboratorio. Arequipa 2022. Repositorio Institucional - UTP.* http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6940

Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales.* Reverte. https://researchs.bibliotecaupn.elogim.com/linkprocessor/plink?id=21cfe0b1-4e3f-3bbf-8f78-567dce94345c.

Ramis Cirujeda, J. (2019). *Aguas residuales urbanas.* Editorial E-Learning. https://books.google.com.pe/books?id=wMflDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

Rossel Bernedo, L.J., Rossel Bernedo, L. A., Ferro Mayhua, F. P., Ferro Gonzales, A. L. y Zapan Quispe, R. R. (2020). *Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable.* Revista Investigaciones Altoandinas. 22(1). pp.68-77.

Severin, B; Suidan, M, y Engelbrecht, R. (1996). *Efecto de la temperatura en la desinfección de la luz ultravioleta.* Environ. Sci. Technol. 717–721. https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/es00118a006#

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2007). *Fundamentos de química analítica* (8.a ed.). Cengage Learning.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2022). *Diagnóstico de*

las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) En El ámbito de las empresas prestadoras. Perú.

Tapia Cuaspud, L. E. y Vargas Ortega, A. I. (2021). *Estudio de la eficiencia de inactivación y reactivación mediante radiación ultravioleta en bacterias Escherichia coli y enterococcus sp. naturales contenidas en agua residual* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21433/1/UPS-CT009421.pdf

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Física para la ciencia y la tecnología* (6.ª ed., Vol. 2). Reverté.

Urrutia, M.I. y Delucis, M.E. (2020). Cálculo estadístico y biometría. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/29250/mod_resource/content/7/Apuntes%202020.pdf

Veliz Flores, R. R. (2015). *Desinfección del efluente secundario de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Ayacucho mediante radiación ultravioleta con fines de mejorar su calidad* [Tesis de Postgrado, Investigaciones en procesos Industriales, Universidad nacional San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional - Universidad nacional San Cristóbal de Huamanga. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/1094/1/T-INV_151015.pdf

Veliz Flores, R.R., Aronés Medina, E. G., Palomino Malpartida, Y.G. y Huincho Rodríguez, R. (2018). *Desinfección del efluente secundario de la planta de agua residual de Ayacucho con radiación ultravioleta para su reutilización en riego agrícola.* Rev. Soc. Quím. Perú. pp.41-56. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000100005

Vera-Marmanillo, V. I. (2021). *Comparación de efectividad en remoción de patógenos de aguas residuales domésticas con tratamientos biológicos y tratamientos físicos por radiación UV*. Revista Sinergia,1(9), 61-72. http://sinergia.colmayor.edu.co/ojs/index.php/Revistasinergia/article/view/131/104

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Permiso solicitado a proregión para acceso a instalaciones de la PTAR Celendín.

CARGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL
SEDE CELENDIN
Shultute s/n – Chacapampa – Celendín - Teléfono 076- 555307 – E-mail: eapiac-unc@hotmail.com

SOLICITO: PERMISO PARA EJECUCIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACION

Sr. Ingeniero
Cesar Plasencia Fernández
Director Ejecutivo – PROREGION CAJAMARCA

S.D.

Yo, Jhon Alexandro Soriano Chávez, alumno egresado de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, identificado con DNI N° 74409380, con CÓDIGO SUNEDU N° 2017810044 con teléfono N° 927556828 Email: jsorianoc17_1@unc.edu.pe, ante usted con el debido respeto expongo;

Que, habiendo culminado la carrera profesional de Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional de Cajamarca, solicito a Ud., permiso para ejecutar de mi proyecto de investigación en las instalaciones de la PTAR de Celendín, el cual lleva por título EFECTO DE LA FILTRACIÓN Y/O RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR CELENDÍN - CAJAMARCA para obtener el grado de Ingeniero Ambiental.

POR LO EXPUESTO
Es justicia que espero alcanzar.

Cajamarca, 21 de marzo del 2024.

JHON ALEXANDRO SORIANO CHÁVEZ
DNI: 74409380

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
PROREGIÓN MAD
EXPEDIENTE N°
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
HORA 4:36pm
21 MAR 2024
FOLIOS 01
RECIBIDO
TRÁMITE DOCUMENTARIO

Anexo 2. Resultados obtenidos de las muestras analizadas en el Laboratorio Regional de Agua de Cajamarca.

Código de Muestra	Caudal (L/min)	Filtro	Radiación UV	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Desinfección de Coliformes Totales %	Desinfección de Coliformes Termotolerantes %
T0			+ UV	2400000	2400000	0	0
T1	1.8	CF	+ UV	1400	350	99.942	99.985
	1.8	CF	+ UV	920	350	99.962	99.985
	1.8	CF	+ UV	1400	110	99.942	99.995
	1.8	CF	+ UV	1100	380	99.954	99.984
T2	1.8	SF	+ UV	2800	490	99.883	99.980
	1.8	SF	+ UV	2800	1100	99.883	99.954
	1.8	SF	+ UV	3500	700	99.854	99.971
	1.8	SF	+ UV	2200	350	99.908	99.985
T3	2.6	CF	+ UV	24000	1700	99.000	99.929
	2.6	CF	+ UV	35000	1400	98.542	99.942
	2.6	CF	+ UV	16000	2800	99.333	99.883
	2.6	CF	+ UV	35000	2800	98.542	99.883
T4	2.6	SF	+ UV	54000	2800	97.750	99.883
	2.6	SF	+ UV	35000	3300	98.542	99.862
	2.6	SF	+ UV	54000	2800	97.750	99.883
	2.6	SF	+ UV	54000	4700	97.750	99.804
T5	4.0	CF	+ UV	54000	7000	97.750	99.708
	4.0	CF	+ UV	54000	4700	97.750	99.804
	4.0	CF	+ UV	54000	4700	97.750	99.804
	4.0	CF	+ UV	54000	24000	97.750	99.000
T6	4.0	SF	+ UV	70000	35000	97.083	98.542
	4.0	SF	+ UV	92000	16000	96.167	99.333
	4.0	SF	+ UV	110000	24000	95.417	99.000
	4.0	SF	+ UV	92000	21000	96.167	99.125

Anexo 3. Estadística de tratamientos en media, mínima, mediana y máximo.

Variable	Tratamiento	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
C. Totales	T1	99.950	99.942	99.948	99.962
	T2	99.882	99.854	99.883	99.908
	T3	98.854	98.542	98.771	99.333
	T4	97.948	97.750	97.750	98.542
	T5	97.750	97.750	97.750	97.750
	T6	96.209	95.417	96.167	97.083
C. Termotolerantes	T1	99.987	99.984	99.985	99.995
	T2	99.973	99.954	99.976	99.985
	T3	99.909	99.883	99.906	99.942
	T4	99.858	99.804	99.873	99.883
	T5	99.579	99.000	99.756	99.804
	T6	99.000	98.542	99.063	99.333

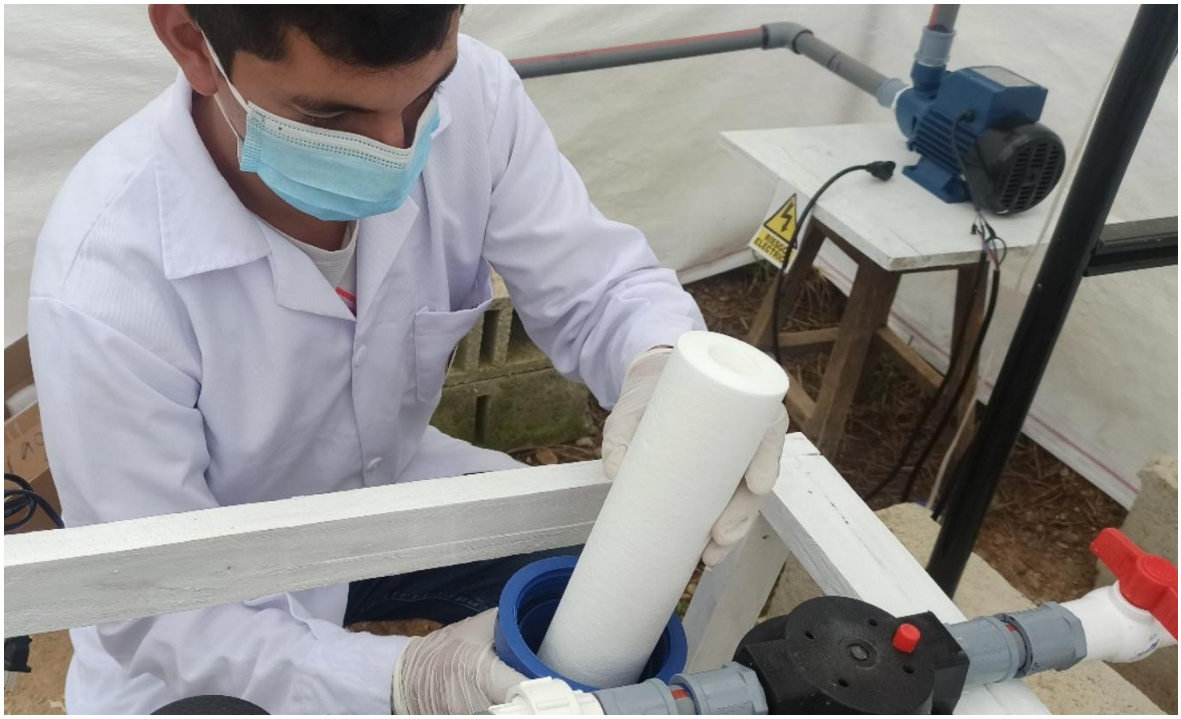
Anexo 4. Panel fotográfico.

Conexión de tubería al efluente de la PTAR Celendín.

Instalación de bomba a efluente de la planta de la PTAR Celendín.

Instalación de tanque de almacenamiento.

Instalación de filtro de sedimentos.

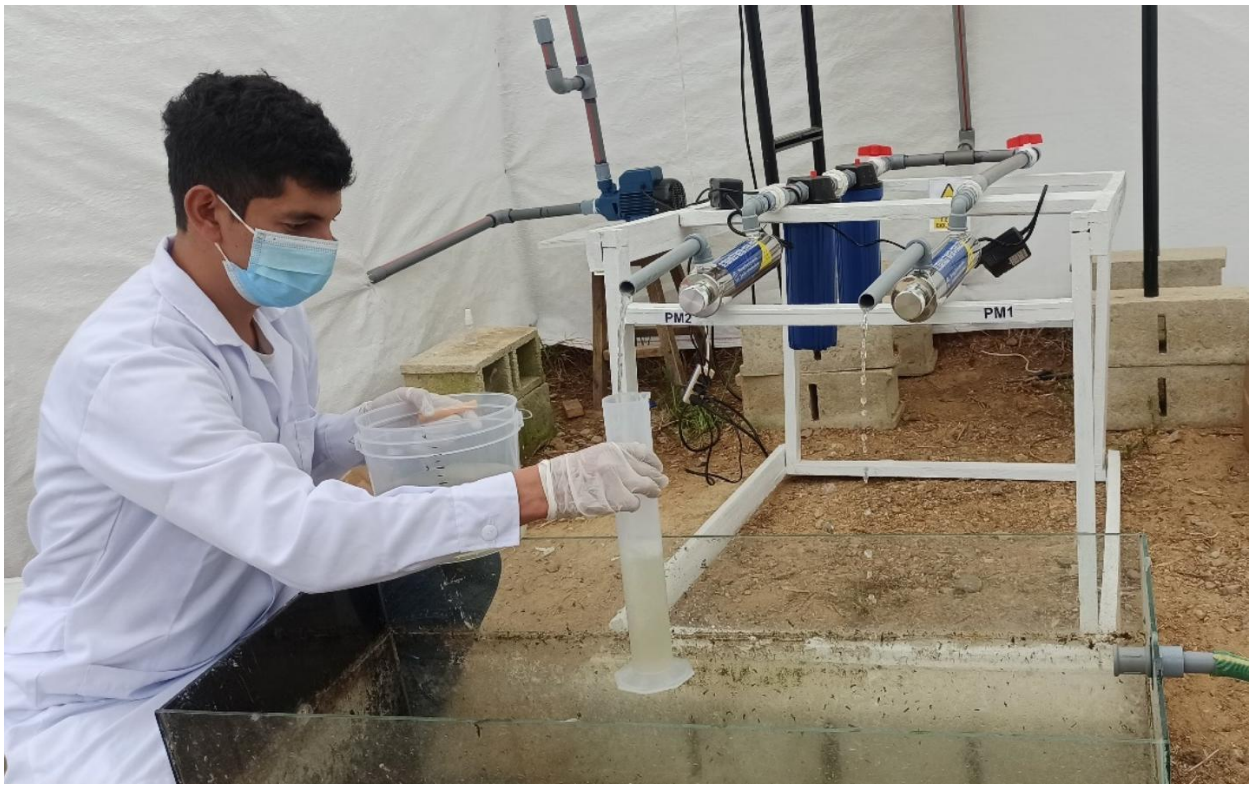


Instalación de filtro de carbón activado.

Instalación de cámaras de radiación UV.

Instalación de lámparas de radiación ultravioleta.

Medición de caudales por método volumétrico.



Rotulado de frascos para toma de muestras.

Muestreo con las repeticiones para envío de muestras a laboratorio regional de Cajamarca.

Premuestreo en afluente.

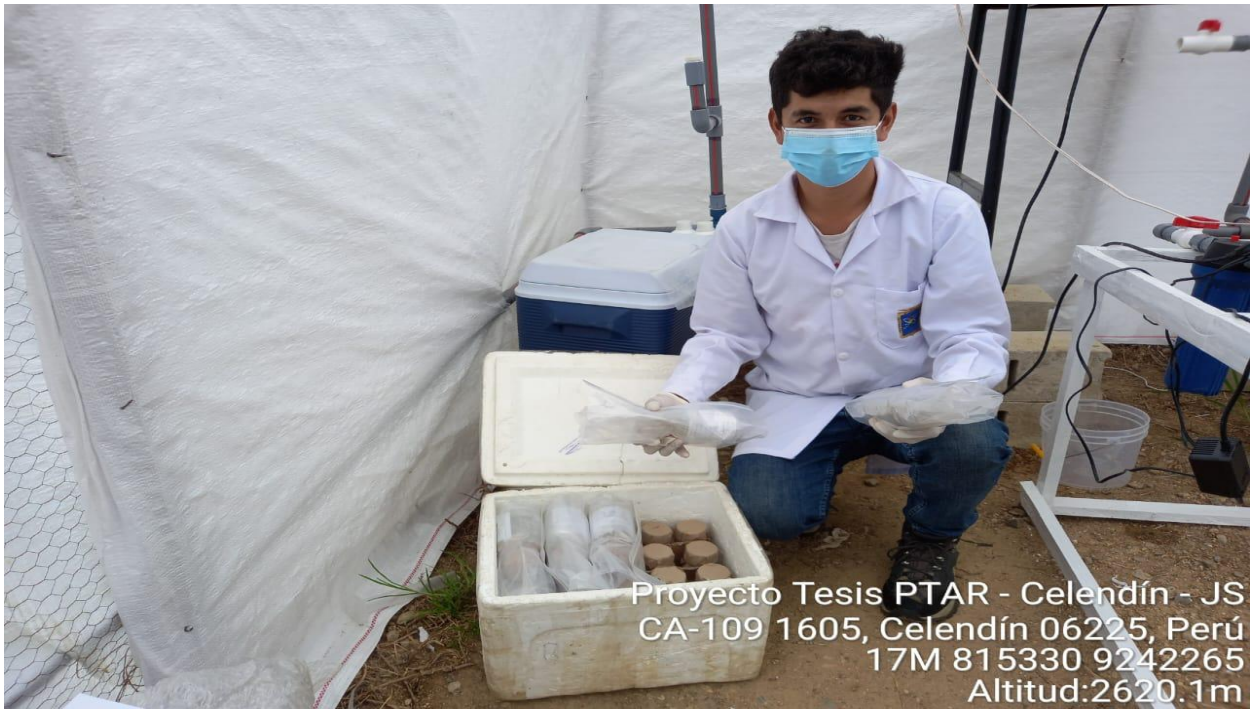
Premuestreo en el efluente sin filtros del sistema para envió a laboratorio regional.

Premuestreo en el efluente con filtros del sistema para envió a laboratorio regional.

Premuestreo para medición de turbidez y parámetros de campo en el laboratorio de la UNC.

Análisis de parámetros de campo y turbidez el laboratorio de la universidad nacional de Cajamarca-Celendín.

Muestras recolectadas para su envío al laboratorio regional de Cajamarca



Anexo 5. Certificado de calibración de turbidímetro

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LO-0002-2023

Expediente : 000240
Fecha de emisión : 2023-02-07

1. **Solicitante** : **Marianela Talitha Pereyra Chavez**
2. **Dirección** : Jr. Arica 214 Celendín Cajamarca
3. **Instrumento** : **TURBIDÍMETRO**
   - **Marca / Fabricante** : EZODO
   - **Modelo** : TUB-430
   - **Serie** : 0003119
   - **Procedencia** : Taiwan
   - **Código de identificación** : No indica
   - **Intervalo de Indicación** : 0 NTU a 1000 NTU
   - **Resolución** : 0,01 NTU; 0,1 NTU; 1 NTU
   - **Ubicación** : No indica
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de óptica de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2023-02-07
6. **Método de calibración**
   La calibración se realizó por comparación de la indicación del equipo con material estandar certificado de valores nominales conocidos.
7. **Trazabilidad**

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
20 NTU	HACH	A2292A	Octubre 2024
100 NTU	HACH	A2237	Agosto 2024
800 NTU	HACH	A2327	Noviembre 2024

8. **Condiciones de calibración**

		Inicial	Final
Temperatura ambiental	:	24,7 % H.R.	25,2 % H.R.
Humedad relativa	:	63,0 % H.R.	60,0 % H.R.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones internacionales, los cuales son aceptados por la EPA como un estándar primario para ser utilizado en la calibración de instrumentos de turbidez.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

Meyler Villalobos Bravo
Responsable de Laboratorio de Óptica

Randy Santiago Jurado
Jefe de Laboratorio

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY

Certificado de calibración N° LO-0002-2023

9. Resultados

Lecturas del equipo antes del ajuste

Valor referencia (NTU)	Lectura del equipo (NTU)
20,0	35,0
100,1	103,0
802,2	818

Resultados del equipo

Valor de Referencia (NTU)	Lectura Promedio del Equipo (NTU)	Error (NTU)	Incertidumbre (NTU)
20,0	20,0	0,0	0,3
100,1	100,0	-0,1	0,9
802,2	796	-6,2	6,8

Valor de referencia = Lectura Promedio del equipo - Error

10. Observaciones

Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° IM-00684.
Los resultados corresponden al promedio de 3 mediciones.
Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .
La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

Anexo 6. Informe de los resultados del pre-muestreo del análisis de los parámetros de laboratorio regional e Cajamarca.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 04240466

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	JHON ALEXANDRO SORIANO CHAVEZ		
Dirección	Jr. Huánuco 2485, Cajamarca		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	jsorianoc22@hotmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	24.04.24	Hora de Muestreo	11:30 - 12:30
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	05		
Ensayos solicitados	Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación		
Referencia de la Muestra:	Efluente de la planta de tratamiento de aguas de residuales de la provincia de Celendin		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-580		Cadena de Custodia	CC - 0466 - 24	
Fecha y Hora de Recepción	24.04.24	16:05	Inicio de Ensayo	24.04.24	16:15
Reporte Resultado	06.05.24	13:25			

Edder Miguel Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Mayo de 2024

Página: 1 de 2

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com / Telef.: 076 - 600040 - anexo 1140

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 04240466

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			AF01	PCF18	PCF4	PSF18	PSF4	-
Código Laboratorio			04240466-01	04240466-02	04240466-03	04240466-04	04240466-05	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-
Localización de la Muestra			Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	-
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados Microbiológicos**					
Coliformes Totales	*NMP/ 100mL*	*1.8*	**54 x 10^4**	**46**	**28 x 10^2**	**17 x 10^2**	**35 x 10^2**	-
Coliformes Termotolerantes	*NMP/ 100mL*	*1.8*	**54 x 10^4**	**21**	**28 x 10^2**	**21**	**35 x 10^2**	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8,<1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE; valor estimado

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Coliformes Totales	*NMP/100mL*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 24 th Ed. 2023: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Coliformes Termotolerantes	*NMP/100mL*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
(°) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.

✓Se prohibe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 06 de Mayo de 2024

GOBIERNO REGIONAL RESPONSABLE LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com / Telef.: 076 - 600040 - anexo 1140

Anexo 7. Informe de los resultados finales del análisis de los parámetros de laboratorio regional del agua del gobierno regional de Cajamarca.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240567

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	JHON ALEXANDRO SORIANO CHAVEZ		
Dirección	Jr Huánuco 2485, Cajamarca		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	jsorianoc22@hotmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	14.05.24	Hora de Muestreo	08:20 - 10:55
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	25		
Ensayos solicitados	Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación		
Referencia de la Muestra:	-		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 580		Cadena de Custodia	CC - 0567 - 24	
Fecha y Hora de Recepción	14.05.24	15:40	Inicio de Ensayo	14.05.24	15:55
Reporte Resultado	23.05.24	16:10			

Edder Miguel Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CBP: 147028

Cajamarca, 23 de Mayo de 2024

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURÁ LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com / Telef.: 076 - 600040 - anexo 1140

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240567

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			AF01	CFA18	CFB18	CFC18	CFD18	SFA18
Código Laboratorio			05240567-01	05240567-02	05240567-03	05240567-04	05240567-05	05240567-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Localización de la Muestra			Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados**					
Coliformes Totales	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	24×10^5	14×10^2	920	14×10^2	11×10^2	28×10^2
Coliformes Termotolerantes	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	24×10^5	350	350	110	380	490

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			SFB18	SFC18	SFD18	CFA26	CFB26	CFC26
Código Laboratorio			05240567-07	05240567-08	05240567-09	05240567-10	05240567-11	05240567-12
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Localización de la Muestra			Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados**					
Coliformes Totales	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	28×10^2	35×10^2	22×10^2	24×10^3	35×10^3	16×10^3
Coliformes Termotolerantes	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	11×10^2	700	350	17×10^2	14×10^2	28×10^2

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			CFD26	SFA26	SFB26	SFC26	SFD26	CFA4
Código Laboratorio			05240567-13	05240567-14	05240567-15	05240567-16	05240567-17	05240567-18
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Localización de la Muestra			Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados**					
Coliformes Totales	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	35×10^3	54×10^3	35×10^3	54×10^3	54×10^3	54×10^3
Coliformes Termotolerantes	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	28×10^2	28×10^2	33×10^2	28×10^2	47×10^2	70×10^2

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 23 de Mayo de 2024

GOBIERNO REGIONAL RESPONSABLE LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240567

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			CFB4	CFC4	CFD4	SFA4	SFB4	SFC4
Código Laboratorio			05240567-19	05240567-20	05240567-21	05240567-22	05240567-23	05240567-24
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Localización de la Muestra			Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín	Efluente PTAR de Celendín
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados**					
Coliformes Totales	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	54×10^3	54×10^3	54×10^3	70×10^3	92×10^3	11×10^4
Coliformes Termotolerantes	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	47×10^2	47×10^2	24×10^3	35×10^3	16×10^3	24×10^3

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			SFD4	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			05240567-25	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Municipal	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Efluente PTAR de Celendín	-	-	-	-	-
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados**					
Coliformes Totales	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	92×10^3	-	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	*NMP/ 100mL*	*1.1000*	21×10^3	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Coliformes Totales	*NMP/100mL*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Coliformes Termotolerantes	*NMP/100mL*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C.E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(°) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.

✓Se prohibe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

GOBIERNO REGIONAL RESPONSABLE LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA CAJAMARCA

Cajamarca, 23 de Mayo de 2024

EFECTO DE LA FILTRACIÓN Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR CELENDÍN – CAJAMARCA

SORIANO CHÁVEZ, Jhon Alexandro

TESISTA

CHÁVEZ HORNA, Giovana Ernestina

ASESOR