

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Análisis de la influencia del proceso de oxidación
avanzada en la eliminación de coliformes
termotolerantes de las aguas residuales domesticas
en el distrito de Chilca, Huancayo-2023**

Geobithza Yesica Ninanya Taipe
Luis Miguel Rodriguez Uchuypoma

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Felipe Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : **Steve Dann Camargo Hinostroza**
Asesor de trabajo de investigación

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación

FECHA : 7 de mayo de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA EN LA ELIMINACIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL DISTRITO DE CHILCA, HUANCAYO – 2023”

Autores:

1. Geobithza Yesica Ninanya Taipe – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Luis Miguel Rodríguez Uchuypoma – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas: 05 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mi padre QEPD Leonardo Ninanya Huamán, quien me brindó su apoyo incondicional, sus consejos y una parte de sus experiencias de trabajo, siempre mostrando el cariño y unión familiar, gracias a todos quienes pusieron la confianza para culminar con mis estudios y ser lo que soy ahora una persona íntegra y profesional realizada, por ello brindarles mi gratitud y más alegrías con mis logros.

Geobithza Yesica Ninanya Taipe

A mis hermanos, cada uno de ellos que con su apoyo incondicional en cada etapa de mi formación profesional supieron darme todo lo que pudieron, siempre con la personalidad que los caracteriza, es invaluable todo lo que recibí de ustedes, muchas gracias familia Rodríguez Uchuypoma.

A mi querida Yesica Ninanya Taipe mi compañera de vida que me apoyo con este proceso que conlleva la tesis. Gracias

Luis Miguel Rodríguez Uchuypoma

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con mucho cariño a mi hijo, Jostin Huamanlazo Ninanya, quien realizó una travesía y vivió experiencias en tan corta edad, ser paciente, tolerante y parte de este logro, confiar y apoyarme en todo momento para lograr esta meta, mil gracias, hijo mío.

Geobithza Yesica Ninanya Taipe

Esta tesis la dedico a mí siempre recordada madre, Toribia Uchuypoma Arroyo, quien con su insuperable forma de amar a sus hijos e inculcar el trabajo arduo y apoyo entre hermanos, pude lograr una de mis metas.

Luis Miguel Rodriguez Uchuypom

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.1.1. Problema general.....	17
1.1.2. Problemas específicos.....	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia.....	18
1.4. Hipótesis.....	19
1.5. Operacionalización de variables.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	23
2.1.3. Antecedentes regionales y locales.....	24
2.2. Bases teóricas.....	25
2.2.1. Aguas residuales.....	25
2.2.1.1. Clasificación de las aguas residuales.....	27

2.2.2.	Elementos y compuestos presentes en las aguas residuales	27
2.2.3.	Aguas residuales domésticas	29
2.2.4.	Fracción orgánica en aguas residuales domésticas.....	30
2.2.5.	Efectos de las aguas residuales domésticas en la naturaleza y en la salud	30
2.2.6.	Microorganismos contaminantes en las aguas residuales.....	30
2.2.7.	Procesos de oxidación avanzada (POA).....	32
2.2.7.1.	POA y su acción en la degradación de contaminantes químicos y microbiológicos.	32
2.2.7.2.	Procesos basados en UV (UV, UV/H ₂ O ₂).....	33
2.3.	Definición de términos básicos.....	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		36
3.1.	Método y alcance de la investigación	36
3.1.1.	Método general	36
3.1.2.	Método específico.....	36
3.1.3.	Tipo de investigación	36
3.1.4.	Nivel de investigación	36
3.2.	Diseño de la investigación	36
3.3.	Población y muestra.....	37
3.3.1.	Población	37
3.3.2.	Muestra	38
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.4.1.	Técnicas e instrumentos.....	38
3.4.2.	Materiales	39
3.4.3.	Procedimientos	39
3.4.3.1.	Etapa de pre-campo	39
3.4.3.2.	Etapa de campo.....	40
3.4.3.3.	Etapa de experimentación.....	41

3.4.3.4.	Etapa de laboratorio.....	42
3.4.3.5.	Etapa de gabinete.....	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		43
4.1.	Presentación de resultados	43
4.1.1.	Caracterización de las aguas residuales del colector Leoncio Prado-Chilca ...	43
4.1.2.	Dosis de H ₂ O ₂ al 30% y tiempo de exposición a los rayos UV en la eliminación de coliformes termotolerantes.....	43
4.1.3.	Variación de la dosis de H ₂ O ₂ en la eliminación de coliformes termotolerantes.....	48
4.1.4.	Variación del tiempo de exposición a los rayos UV en la eliminación de coliformes termotolerantes	49
4.2.	Prueba de hipótesis	50
4.2.1.	Hipótesis específicas.....	52
4.2.2.	Hipótesis general	53
4.3.	Discusión de resultados	54
CONCLUSIONES.....		58
RECOMENDACIONES		59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		60
ANEXOS.....		65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Compuestos contaminantes en aguas residuales, relevancia y origen	27
Tabla 2: Datos de las variables independientes para el diseño factorial	37
Tabla 3: Coordenadas de ubicación del colector Leoncio Prado.....	43
Tabla 4: Caracterización del agua residual del colector Leoncio Prado.....	43
Tabla 5: Remoción de coliformes termotolerantes	44
Tabla 6: Porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes	46
Tabla 7: Variación de dosis de H ₂ O ₂	48
Tabla 8: Variación del tiempo de exposición UV.....	49
Tabla 9: Resumen del diseño factorial 3 ²	51
Tabla 10: Información de las variables.....	51
Tabla 11: Estadísticas descriptivas	52
Tabla 12: Prueba de Kruskal – Wallis para hipótesis específica 1	52
Tabla 13: Estadísticas descriptivas	53
Tabla 14: Prueba de Kruskal – Wallis para hipótesis específica 2	53
Tabla 15: Prueba de chi-cuadrada.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de las aguas residuales	26
Figura 2. Mapa de ubicación de punto de recolección de muestra.....	39
Figura 3. Eliminación de coliformes termotolerantes replicas	44
Figura 4. Eliminación de coliformes termotolerantes promedio	45
Figura 5. Porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes	47
Figura 6. Eliminación de coliformes termotolerantes gráfica de contorno	47
Figura 7. Interacción de dosis de H ₂ O ₂ y tiempo de exposición	48
Figura 8. Variación de dosis de H ₂ O ₂	49
Figura 9. Variación de tiempo de exposición a rayos UV	50
Figura 10. Prueba de normalidad para la eliminación de coliformes termotolerantes ..	51

RESUMEN

En el estudio realizado en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca Huancayo en el año 2023, se determinó la influencia del proceso de oxidación avanzada con peróxido de hidrógeno en la eliminación de coliformes termotolerantes en dichas aguas, para ello primero se realizó el monitoreo del agua residuales domésticas de Chilca en el colector Leoncio Prado donde se tomaron una muestra total de 6L de los cuales se usaron 200 mL por unidad experimental, al realizar la caracterización del agua residual doméstica se obtuvo que contiene más de 110000 NMP/100mL de coliformes termotolerantes. La aplicación del tratamiento se realizó variaciones en dosis de peróxido de hidrógeno al 30% (30 mL, 40 mL y 50 mL) y tiempo de exposición a rayos UV con ayuda de una lampara UV de 16 Watts y 44 cm de longitud de onda (30min, 45 min y 60 min). Dando resultados que el mejor resultado eliminación de coliformes termotolerantes se obtuvo a condiciones de 30 mL de H₂O₂ al 30% y tiempo de exposición de 60 min obteniendo 1467 NMP/100mL que representando un porcentaje de eliminación del 98,67%. Y el tratamiento que obtuvo menor resultado de eliminación fue a condiciones de 50 mL y 30 min ya que se obtuvo 15333 NMP/100mL que representa un porcentaje del 86,06%. Concluyendo así que el proceso de oxidación avanzada influye en la eliminación de coliformes termotolerantes por ende es adecuado para tratar aguas residuales doméstica.

Palabras claves: peróxido de hidrógeno, tiempo de exposición, rayos UV, coliformes termotolerantes y agua residual.

ABSTRACT

In the study carried out in the treatment of domestic wastewater in the district of Chilca Huancayo in the year 2023, the influence of the advanced oxidation process with hydrogen peroxide on the elimination of thermotolerant coliforms in said waters was determined. For this purpose, it was first carried out the monitoring of domestic wastewater from Chilca in the Leoncio Prado collector where a total sample of 6L was taken, of which 200 mL were used per experimental unit. When performing the characterization of the domestic wastewater, it was obtained that it contains more than 110,000 NMP/100mL. of thermotolerant coliforms. The application of the treatment was carried out with variations in doses of 30% hydrogen peroxide (30 mL, 40 mL, and 50 mL) and exposure time to UV rays with the help of a 16-Watt UV lamp with a wavelength of 44 cm (30min, 45min and 60min). Giving results that the best elimination result of thermotolerant coliforms was obtained under conditions of 30 mL of 30% H₂O₂ and exposure time of 60 min, obtaining 1467 NMP/100mL, which represents an elimination percentage of 98.67%. And the treatment that obtained the lowest elimination result was at conditions of 50 mL and 30 min since 15333 NMP/100mL was obtained, which represents a percentage of 86.06%. Thus, concluding that the advanced oxidation process influences the elimination of thermotolerant coliforms and is therefore suitable for treating domestic wastewater.

Keywords: hydrogen peroxide, exposure time, UV rays, thermotolerant coliforms and residual water.

INTRODUCCIÓN

Según reportes globales de la UNESCO, menciona que debido al aumento masivo de la población se ha ido incrementando la producción de aguas residuales, siendo así que los países de altos ingresos tratan alrededor del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que producen. Este promedio cae al 38% en los países de ingresos medianos altos y al 28% en los países de ingresos medianos bajos. En los países de bajos ingresos, solo el 8% recibe tratamiento. En el Perú según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se producen 45 m³ /s de agua residual domésticas de la cuales solo el 7,8 m³ /s es tratada y el resto es vertida a los cuerpos receptores sin previo tratamiento, lo que ocasiona que terrenos vienen siendo regados con aguas provenientes principalmente del río Mantaro, Shullcas y efluentes que se encuentran altamente contaminados no sólo con metales pesados, sino también con compuestos tóxicos y microbiológicos.

Para dar solución al problema de contaminación de cuerpos receptores por vertimientos de aguas residuales domésticas, la tecnología que más se aplica es el tratamiento mediante lagunas facultativas, que genera un gran costo de inversión y mantenimiento. Sin embargo, investigaciones realizadas en los últimos años, brindan nuevas tecnologías para poder tratar dicho problema, uno de estos procesos será el tratamiento de aguas residuales mediante oxidación avanzada el cual es considerado un método sencillo, económico y fácil de aplicar en la industria.

Debido a ello el presente trabajo de investigación estudió este proceso en su aplicación de eliminación de coliformes termotolerantes. El desarrollo de la investigación estará expuesto por 4 capítulos donde:

En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, objetivos, justificación del trabajo y la identificación de variables.

En el Capítulo II se expone la revisión bibliográfica, incluyendo así a los antecedentes, marco teórico y marco conceptual.

En el Capítulo III se expone la parte experimental desarrollada en el laboratorio, detallando la metodología, diseño experimental, equipos y materiales que fueron utilizados para el desarrollo.

En el Capítulo IV se presenta el tratamiento de datos y discusión de los resultados, demostrando los resultados por medio de tablas y gráficos; posteriormente la comprobación de la hipótesis.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Según reportes globales de la UNESCO, desde décadas atrás se está produciendo un incremento masivo en la población generado principalmente por la mala distribución territorial, lo que está causando un aumento en los desechos que los humanos generan producto de sus actividades y necesidades diarias, siendo así que los países de altos ingresos tratan alrededor del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que producen. Este promedio cae al 38% en los países de ingresos medianos altos y al 28% en los países de ingresos medianos bajos. En los países de bajos ingresos, solo el 8% recibe tratamiento. [1]

Estas estimaciones respaldan lo comúnmente citada de que más del 80% de las aguas residuales del mundo se descargan sin ningún tratamiento en los sistemas de tuberías que colectan estas aguas residuales para darles un depósito final de manera incontrolada en los cuerpos de agua superficiales como ríos, lagunas y sólo en pocos países a plantas de tratamiento de aguas residuales, que son usados en un 69 % para riego de cultivos, pues en América Latina, la contaminación agrícola se da por el uso de aguas residuales municipales, la minería y las actividades agrícolas, y la acumulación de residuos sólidos producto de las descargas y descomposiciones las cuales son absorbida por los diversos cultivos. [2].

En el Perú la actividad económica en la que participan la mayor cantidad de peruanos que están en condiciones de trabajar. En total: el 36% de casi 6 millones de habitantes de la PEA, demuestra que el sector agrícola es el segundo generador de divisas para el Perú, resulta indispensable contar con un buen sistema de tratamiento de las aguas con que se riegan los cultivos; sin embargo, la disposición de aguas residuales domiciliarias actualmente van a parar directamente en los cuerpos de agua superficial generando grandes riesgos y daños tanto para el ecosistema (agua y suelo) así como también para la población que consume estos cultivos contaminados con microorganismos patógenos (coliformes totales, coliformes fecales, virus, entre otros) y que en dosis elevadas en ciertos órganos, puede generar problemas graves en la salud. [3]

Según estudios realizados por la ANA el 2016 menciona que existe una producción estimada de aguas residuales domésticas en el Perú es de $45 \text{ m}^3 / \text{s}$, de las cuales la

cantidad de aguas residuales tratadas y reusadas en riego agrícola se estima en $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$, y el reusado en riego municipal en $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. [4]

En la región Junín, las actividades principales desarrolladas para el sustento económico son la ganadería y agricultura, cuenta con extensiones de terrenos agrícolas de 356 254,87 hectáreas, de las cuales 41 365,30 hectáreas son áreas destinadas a siembra de cultivos permanentes y pastoreo de animales vacunos, bovinos, porcinos, etc. Estos terrenos vienen siendo regados con aguas provenientes principalmente del río Mantaro, Shullcas y efluentes que se encuentran altamente contaminados no sólo con metales pesados, sino también con compuestos tóxicos y microbiológicos producto del vertimiento de aguas residuales domésticas, los cuales al contacto con los cultivos, animales o personas generan problemas en el organismo, afectando la salud de personas vulnerables. [5]

Para dar solución al problema de contaminación por vertimientos de aguas residuales domésticas a los cuerpos superficiales o cursos de agua, la tecnología que más se aplica es el tratamiento mediante lagunas facultativas, que genera un gran costo de inversión y mantenimiento. Sin embargo, investigaciones realizadas hace algunos años, brindan nuevas tecnologías para poder tratar dicho problema, aplicando métodos más sencillos, económicos y fáciles de aplicar en la industria, uno de estos procesos será el tratamiento de aguas residuales mediante oxidación avanzada, el cual muestra una gran eficiencia en la remoción de materias contaminantes que se encuentran en los efluentes domiciliarios, además de ser accesible tanto en materiales como reactivos y principalmente es un proceso que al no generar lodos contaminantes, no causa daños a la naturaleza y a los seres que la habitan, convirtiéndola en una tecnología amigable con el planeta. [6]

Es debido a todo lo mencionado con anterioridad que en el presente trabajo se aplicará el método de la oxidación avanzada (UV/peróxido de hidrógeno) para eliminar coliformes termotolerantes de aguas residuales, las cuales se basan en la generación de radicales oxigenados (hidroxilo y otros) que actúan como agentes altamente oxidantes, capaces de oxidar gran parte de compuestos orgánicos, siendo factores determinantes el volumen, la concentración de peróxido de hidrógeno y el tiempo de exposición a la radiación UV para tener efectos de eliminación de los coliformes en las aguas residuales domésticas.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del proceso de oxidación avanzada en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Qué características microbiológicas presenta las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023?
- ¿Cuál será la dosificación óptima del peróxido de hidrógeno al 30% en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023?
- ¿Cuánto será el tiempo de exposición a la radiación UV óptima del peróxido de hidrógeno en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar la influencia del proceso de oxidación avanzada en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los compuestos microbiológicos presentes en las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023.
- Determinar la dosificación óptima del peróxido de hidrógeno al 30% en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023.
- Determinar el tiempo de exposición a la radiación UV óptima del peróxido de hidrógeno en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023.

1.3. Justificación e importancia

El aumento exponencial de la población y por ende el incremento de las aguas contaminadas que se generan como consecuencia de las actividades que las personas realizan, es un problema latente que cada día toma mayor importancia y necesita atención urgente. Estas aguas contaminantes contienen gran carga de elementos tóxicos como grasas, compuestos agrícolas y en mayores cantidades microorganismos patógenos (coliformes totales y coliformes fecales) que dañan de manera significativa los cursos de agua en donde son descargados, los suelos agrícolas que son regados con ellos y de manera directa o indirecta a la salud de las personas que consumen los productos regados con dichas aguas.

En el valle del Mantaro, las aguas residuales domésticas son vertidas en su mayoría, directamente sobre los cuerpos de agua, sin ningún previo tratamiento y sin respetar ninguna clase de normativa que prohíbe el vertimiento de efluentes contaminados a las aguas superficiales y son estas aguas las que los pobladores usan para el riego de sus terrenos, estando expuestos a focos infecciosos por la presencia de microorganismos patógenos como coliformes totales, fecales y termotolerantes causantes de diversas enfermedades.

En vista de los impactos negativos que generan las aguas residuales domésticas, se tiene la necesidad de innovar en un tratamiento que elimine estos microorganismos infecciosos para el ser humano y que a la vez permita una naturaleza más saludable, una de estas nuevas tecnologías viene a ser la oxidación avanzada que, si bien aún no se aplica frecuentemente en los países subdesarrollados por falta de conocimiento del método, resulta ser de gran eficiencia en la eliminación de contaminantes de aguas residuales, pues está basado en la aplicación de procesos físicos y químicos que usan radicales hidroxilos (OH^-) con alta reactividad para la destrucción de los microorganismos. Por lo que en la investigación se aplicará el método de oxidación avanzada (UV/peróxido de hidrógeno) para eliminar los coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas. Actualmente, el recurso principal para el hombre, el agua, se encuentra altamente contaminado por compuestos metálicos, orgánicos, agrícolas y microorganismos patógenos, estas aguas están siendo tratadas mediante métodos que resultan tener mucho tiempo de ejecución y altos costos de mantenimiento, además de generar como subproductos lodos contaminantes que necesitan también de un tratamiento para que no dañen al ecosistema.

Por ello, resulta relevante el desarrollo de nuevos métodos que sean de bajo costo, pero de gran eficiencia y amigables con el medio ambiente. Un nuevo método que se fortalece cada vez más es el método de la oxidación avanzada (UV/peróxido de hidrógeno) para la eliminación de microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales domiciliarias, que aparte de mostrar gran eficiencia, no genera subproductos como lodos contaminados que necesiten algún tratamiento secundario, resultando además aplicable a concentraciones de hasta partes por billón (ppb). Esta tecnología dará como resultado un agua de mejor calidad respecto a los microorganismos patógenos, evitando problemas de salud de las personas que consumen productos regados con dichas aguas contaminadas. Por lo tanto, en este trabajo de investigación se contribuirá con un nuevo método de eliminación de coliformes termotolerantes, que forman parte de los microorganismos patógenos, de las aguas residuales domésticas, aplicando la oxidación avanzada (UV/peróxido de hidrógeno). La presente investigación buscará también servir como base y referencia para futuras investigaciones que se relacionen con la temática de la investigación.

1.4. Hipótesis

Hipótesis general

Ho: El proceso de oxidación avanzada no influye de manera significativa en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito Chilca, Huancayo – 2023.

Ha: El proceso de oxidación avanzada influye de manera significativa en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023

1.5.Operacionalización de variables

VARIABLES		DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Proceso de oxidación avanzada	Es un proceso físico – químicos capaz de producir cambios en la estructura de los contaminantes aumentando su biodegradabilidad mediante el uso del radical hidroxilo (OH ⁻).	Se usará el proceso de oxidación avanzada realizando variaciones a la dosis de peróxido de hidrogeno y tiempo de exposición a la radiación UV para el tratamiento a nivel microbiológico de las aguas residuales domésticas de Chilca.	<ul style="list-style-type: none"> • Dosis de peróxido de hidrogeno al 30% • Tiempo de exposición a la radiación UV 	<ul style="list-style-type: none"> • mL • minutos 	<ul style="list-style-type: none"> • Nominal • Nominal
DEPENDIENTE	Coliformes termotolerantes	Es un indicador estándar a nivel microbiológico para las aguas, estas pertenecen a un subgrupo de los coliformes totales, la especie predominante es la Escherichia Coli, pero también se pueden incluir otras como la enterobacter y citrobacter.	Los coliformes termotolerantes serán el parámetro de análisis para determinar la dosis adecuada de H ₂ O ₂ y el tiempo de exposición tomando en cuenta la concentración de coliformes y porcentaje de remoción obtenido.	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de coliformes termotolerantes 	<ul style="list-style-type: none"> • UFC/MI • Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Nominal

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo de investigación “Tratamiento de aguas residuales generadas en la industria de comunicación gráfica que emplea impresión tipo Offset Estudio de caso” tuvieron como objetivo determinar la eliminación de contaminantes mediante método cualitativamente y cambios en la absorbancia de la muestra, a través de proceso de coagulación, floculación, flotación y ozonización para ello aplicó una metodología experimental, con coagulantes (policloruro de aluminio, sulfato de aluminio y sulfato ferroso), donde los resultados muestran que de los tres coagulantes utilizados, solo el policloruro de aluminio PAC logró resultados satisfactorios en el tratamiento del agua a la dosis óptima de 5 mL a un pH inicial de 9. La adición de un 0,5 % de agua clarificada puede reducir la DQO, la turbidez y la concentración de TOC en un 32,91 %, 94,54 % y 27,38 %, respectivamente concluyendo que el tratamiento combinado, la clarificación y la ozonización redujeron las concentraciones de DQO, Carbono orgánico total y turbidez en un 70,72 %, 65,25 % y 99,57 %. [7]

En la investigación “Aplicación de procesos de oxidación avanzada seguidos de diferentes tecnologías de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias” tuvo por objetivo evaluar la eficacia de los métodos avanzados de tratamiento de aguas residuales con respecto a la eliminación de 3 aspectos de los efluentes hospitalarios antes de su descarga en una planta de tratamiento de aguas residuales (STP) Se aplicaron dos medidas para determinar la degradación de los productos farmacéuticos. En el primer enfoque, se añade una concentración conocida de los compuestos seleccionados y se revela la capacidad de reducción potencial durante un período de 24 h, mientras que en el segundo enfoque, los efluentes crudos se operaron en los diferentes reactores y la capacidad de reducción se investigó en consecuencia, la muestra se analizó en cuanto a pH, TDS, DBO, DQO y recuento bacteriano como unidades formadoras de colonias (UFC) utilizando un volumen de 8 L de efluente del hospital para el tratamiento. La concentración de peróxido de hidrógeno se tomó como el 35 % de la dosis máxima de ozono aplicada (es decir, 2,5 mg/L al 30 % p/v) a la

solución. La dosificación de ozono se fijó en 1,10 g/h con un caudal de oxígeno de 2 LPM para mantener la concentración de ozono disuelto en la solución acuosa en el rango de 1,0 mL 7,0 mg/L-min, concluyendo que la eficiencia de remoción promedio del tratamiento secundario existente en las siete tecnologías con respecto a los residuos farmacéuticos oscila entre solo el 18%- 32% en aireación extendida (EA) y biorreactor de membrana (MBR) respectivamente. Las eficiencias de eliminación aumentaron para los procesos de tratamiento terciario para estas tecnologías, que van del 30 % al 65 % para EA y MBR. [6]

Según la investigación “Remoción de tensoactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos Fenton” tuvieron el objetivo de examinar los procesos Fenton tradicionales y mejorados utilizan ácido cítrico como agente quelante para eliminar los tensoactivos y neutralizar los coliformes fecales en las aguas residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en Quito, Ecuador. Las condiciones óptimas (requisitos de mezcla, concentración de H₂O₂ y relación molar Fe₂:H₂O₂ para el proceso Fenton convencional. Estas disposiciones se aplican a los productos Fenton modificados con ácido cítrico. En este procedimiento se ensayan dos relaciones molares Fe₂: citrato (1:1 y 1:1,25) a cuatro valores de pH (2,80; 4,50; 6,00 y 7,84). Los mejores resultados se obtuvieron con una concentración de H₂O₂ de 56,33 mM, relación molar Fe₂: citrato:H₂O₂. 1:1:9, agitación continua y pH 6. En estas condiciones, los coliformes fecales se eliminaron por completo, con una reducción del 97 % en tensoactivo y una reducción del 89% en DQO después de 15 minutos de tratamiento, concluyendo que a través de este método el agua purificada resultante cumple con la legislación ecuatoriana sobre descargas a cuerpos de agua dulce. Este trabajo aporta valiosos datos sobre la eficiencia de los procesos Fenton y los postula como una posible solución a los problemas asociados al tratamiento de aguas residuales domésticas. [8]

Según la investigación “Eliminación de *Escherichia Coli* en agua de mar mediante procesos de oxidación avanzada” en este estudio tuvo como objetivo evaluar la inactivación de *E. coli* en agua de mar mediante oxidación mejorada (POA) usando un reactor UV con una bomba peristáltica, para ello utilizó una metodología experimental donde encontró resultados que el estanque de camarones probado en Puerto Hualtaco contenía 1100 NMP/100 mL de *E. coli*,

que es 236 NMP/100 mL más que el agua de entrada, por lo que la oxidación prolongada es una medida efectiva para neutralizar la inactivación de *E. coli*. Alcanzando el 99,99% de desactivación en 16 segundos, logrando una reducción de 4 a 5 unidades logarítmicas y el tratamiento más eficiente fue el eficientes fueron UV/H₂O₂, y UV/H₂O₂/Fe⁺³ encontrando una relación directa a la concentración de peróxido y hierro que aumentan la eficiencia del proceso. [9]

En la investigación “Avances recientes en procesos de oxidación avanzados para la eliminación de contaminantes del agua: una revisión exhaustiva” Esta revisión presenta el progreso de procesos de oxidación avanzada (AOP) en la oxidación y eliminación de varios contaminantes emergentes del agua. El artículo proporciona una discusión detallada y una revisión crítica del trabajo publicado recientemente. Muchos informes han documentado avances tecnológicos relacionados con: mejora de la eficiencia energética utilizando fuentes de energía renovables y de ahorro de energía, predicción y control exitosos del rendimiento, proceso, capacidad mejorada de captura de luz debido al efecto plasmónico, combinado con éxito con métodos de tratamiento biológico y filtración por membrana. A pesar de estos logros, persisten desafíos como la escasez estructuras de modelado apropiadas, escalas de investigación espaciales y temporales poco realistas y basadas en membrana. Este artículo examina estos problemas y las estrategias para resolverlos, predicción de rendimiento y control de procesos exitosos, recolección de luz mejorada mediante efectos plasmónicos, integración exitosa métodos de depuración biológica y filtración por membrana, a pesar de estos avances, todavía existen muchos desafíos, como la falta de un marco de modelado apropiado, escalas de investigación espaciales y temporales poco realistas y el ensuciamiento de la membrana en el AOP de la membrana.[10]

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según la investigación “Reducción de la concentración microbiana (*Escherichia Coli*) en aguas de la cuenca baja del río Lurín mediante un procesos de oxidación avanzada” tuvo el objetivo de reducir la carga de *Escherichia Coli* en las aguas de la Cuenca Baja del río Lurín, usando un proceso de oxidación avanzada, para ello utilizó un diseño experimental de tipo aplicada, investigación es experimental, para ello realizaron 9 pruebas con 1200 mL de muestra, dando

como resultado que la concentración de *E. Coli* registradas en el agua de la cuenca baja del río Lurín es de $9,4 \times 10^3$ NMP/100mL logrando reducir la carga bacteriana, con porcentajes de reducción mayores al 99%, de este modo el sulfato de aluminio 1%, tuvo un mejor resultado a una concentración de 15 mL y con un tiempo de ozonificación de 15 min. [11]

Según la investigación “Aplicación de tecnología de oxidación avanzada en la descontaminación de aguas residuales procedentes del empaque de banano en Tumbes” el objetivo de este estudio fue tratar las aguas residuales de los envases de banano utilizando un método combinado de oxidación avanzada. El muestreo se realizó por el método no probabilístico, con la misma técnica teniendo en cuenta el acceso de las empresas agroindustriales, con una muestra de 20 litros por empresa en los momentos de alta productividad de la jornada laboral. Se evaluaron los siguientes parámetros de campo: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, pH y turbidez. Después de la caracterización del agua residual, se realizaron cuatro procedimientos avanzados de oxidación combinada (UV H₂O₂ Ax, UV TiO₂ Ax, UV TiO₂ Ae, UV TiO₂ H₂O₂ Ax) en desarrollo experimental y/o muestreado. después de una evaluación de 2 horas en la que se analizan parámetros físicos, químicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua después de la evaluación. De acuerdo con los resultados de las pruebas, se constató que los valores finales del índice de agua residual indicado no superan el valor de la norma de calidad ambiental (ECA) clase 3 - riego animal y agua potable; parámetros de conductividad, nitritos y coliformes; los otros parámetros como DBO, DQO, cloruro y valor de pH y valor de oxígeno disuelto más bajo que ECA-Agua, etc. no pueden reducir el grado de contaminación después de adoptar el método de oxidación combinado mejorado. [12]

2.1.3. Antecedentes regionales y locales

En la investigación de tesis “Análisis de la influencia de la fotocatalisis heterogénea en la concentración de coliformes totales en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Jauja” con el objetivo de determinar la influencia que presenta el proceso de fotocatalisis heterogénea sobre la concentración de coliformes totales de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Jauja utilizando una metodología de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel

correlacional-explicativo de tipo experimental en una muestra de 20 litros de volumen, encontrando como resultado que la concentración del catalizador TiO_2 tiene un efecto significativo, por lo que a mayor concentración de 0,06 g/1000 mL se obtienen mejores resultados en cuanto a pH y tiempo de exposición a la radiación UV porque cambiar el valor de pH en el proceso de 6 a 9 no hará una gran diferencia, especialmente si se recomienda un valor de 6 a 7 para el proceso fotocatalítico, la muestra se expone a la luz solar durante 6 horas para reducir el concentración total de bacterias coliformes hasta en un 98% , concluyendo que el uso de un proceso fotocatalítico heterogéneo afectó significativamente la concentración total de bacterias coliformes en el agua residual de la planta de tratamiento de Jauja, teniendo un efecto en la reducción de la carga bacteriana, logrando su inactivación hasta en un 98%, podría ser mostrado en las muestras analizadas. [13]

En la investigación “Eficiencia de fotocatálisis homogénea en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del frigorífico cárnicos del centro S.A.C. FRICACEN distrito de Concepción -Junín 2016” con el objetivo de determinación del porcentaje de remoción de DQO y DBO_5 por fotocatálisis homogénea (Foto Fenton) en el tratamiento de aguas residuales industriales del Frigorífico Cárnicos del Centro S.A.C. FRICACEN a nivel de laboratorio para ello usaron una metodología experimental de tipo correlacional a través de un diseño factorial 32 teniendo un total de 9 unidades experimentales en una muestra de 200 mL, los resultados mostraron que la reducción de DQO y DBO_5 de las aguas residuales, se registró en el valor de DQO inicial de 5823,1 mg/L, y la DQO se redujo a 465,8 mg/L, con una tasa de eliminación de DQO del 92 %. se redujo a 228,9 mg/L DBO_5 , se logró una eliminación de DBO_5 del 93,3%, que es el valor más alto alcanzado entre los diferentes métodos de tratamiento. concluyendo que el tratamiento fotocatalítico homogéneo (Foto Fenton) reduce la materia orgánica de forma muy eficaz, uno de los factores que influyen es la radiación UV y la cantidad de catalizador necesaria para el tratamiento. [14]

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son aguas crudas (sin ningún tratamiento) que presentan altos índices de contaminación, lo que provoca una alteración en su composición

original y por ende necesitan de un tratamiento preliminar antes de su vertimiento a cualquier cuerpo receptor o a los sistemas de alcantarillado [15] definen a las aguas residuales como un efluente líquido contaminado producto de las actividades diarias que realiza el hombre, con alto contenido de material orgánico y microorganismos patógenos que necesariamente deberían ser liberados al ecosistema, pero después de pasar por un previo tratamiento.

El tema de aguas residuales está estrechamente relacionado con los estándares y/o las expectativas establecidas para la calidad del efluente y es por lo que la función principal de una PTAR es minimizar el impacto ambiental de la descarga de agua no tratada en sistemas de agua natural.

Las PTAR convencionales consisten en dos niveles de tratamiento: preliminar y primario (físico y químico) y secundario (biológico). Estos tratamientos pueden reducir: sólidos en suspensión, compuestos orgánicos biodegradables, bacterias patógenas y nutrientes. Además, como la sostenibilidad se promueve dentro del ciclo del agua, las funciones de las PTAR también deben ser la recuperación de los recursos hídricos (agua recuperada), la energía (metano de la digestión anaeróbica) y los materiales (biosólidos y nutrientes) [16].

Estas aguas residuales tratadas generalmente se descargan en el mar o los ríos, pero no se utilizan para fines de reutilización. También una EDAR puede obtener un recurso de las aguas residuales que realizan un tratamiento terciario en las aguas residuales tratadas que pueden reutilizarse [16].

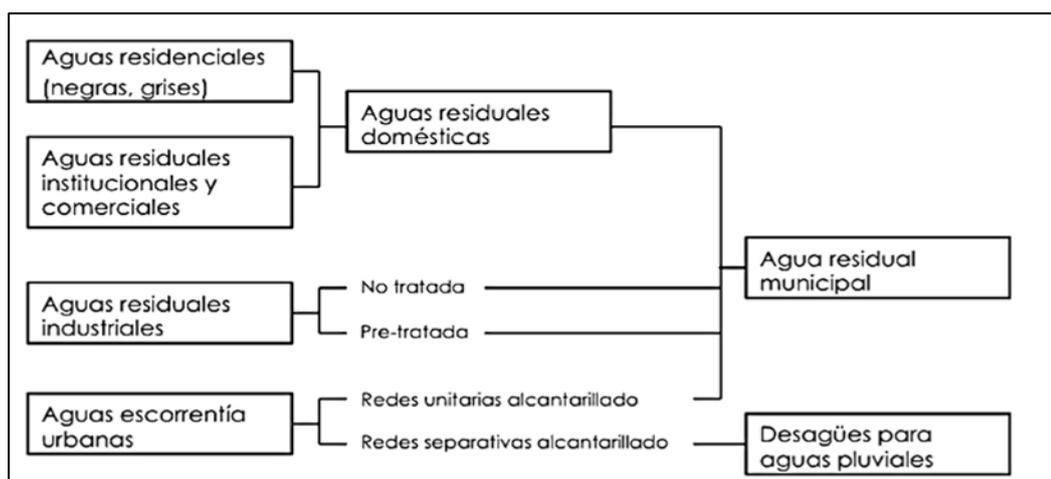


Figura 1.Flujograma de las aguas residuales

Fuente: La imagen fue obtenida de Justo Llopis, Ana. (2015) [17]

2.2.1.1. Clasificación de las aguas residuales

Según [18] la clasificación de las aguas residuales se presenta en tres divisiones:

A. Industriales

Son las aguas que desechan las industrias y fábricas después del desarrollo de sus procesos productivos, en este rubro están incluidos también la minería, la industria energética, la agroindustria, entre otros.

B. Municipales

Son las aguas residuales domésticas que se encuentran mezcladas con las aguas provenientes de las industrias (tratadas con anterioridad) o con aguas de los sistemas de drenaje, cuya disposición final es en los sistemas de alcantarillado.

C. Domésticas

Se refieren a las aguas que son producto de las actividades que realiza el ser humano en su vida diaria, pueden ser comerciales o residenciales y presentan elevada carga orgánica, su disposición final en los cuerpos receptores se debería de realizar previo tratamiento.

2.2.2. Elementos y compuestos presentes en las aguas residuales

Se puede realizar una caracterización de las aguas residuales respecto a los principales componentes contaminantes que presenta. En la tabla siguiente se exponen los tipos de contaminantes existentes y los posibles efectos que causan en los cuerpos donde son vertidos.

Tabla 1: Compuestos contaminantes en aguas residuales, relevancia y origen

Compuesto contaminante	Relevancia	Origen
Sólidos suspendidos sedimentables	Una acumulación de estos genera fango y lodos en los sistemas de tuberías, plantas	Doméstico o por arrastre de escorrentías

	de tratamiento y en el entorno mismo.	
Carga orgánica (DBO, Nitrógeno)	Distorsión del equilibrio acuático, al terminarse el oxígeno se producen olores fétidos y muerte de peces Daños a la salud de los humanos, debido a que	Domésticos e industriales
Microorganismos (coliformes totales y fecales)	estos son causantes de enfermedades, por ejemplo, la enfermedad del cólera	Domésticos
Nitrógeno y fósforo (nutrientes)	Una dosis excesiva de estos componentes genera la eutrofización.	Domésticos, industriales, por arrastre de escorrentías
Elementos orgánicos no degradables y metales pesados	El material no degradable es tóxico para el ambiente, cancerígeno y a altas concentraciones causan	Industriales, por arrastre de escorrentías y por pesticidas

	bioacumulación	
	en los	
	ecosistemas	
	provocando	
	daños a la flora y	
	fauna	
	Concentraciones	
	altas de SDT	
Sólidos disueltos	impiden que las	Industriales
totales	aguas puedan ser	
	usadas para	
	riego.	

Fuente: La tabla fue obtenida de Justo Llopis, Ana. (2015) [17]

2.2.3. Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas presentan tres componentes principales, compuestos orgánicos, compuestos nitrogenados y fósforo [19]. Los compuestos orgánicos incluyen carbohidratos, proteínas y grasas, mientras que el nitrógeno está presente principalmente en el amoníaco y el fósforo está presente en forma de fosfato en la basura doméstica. Las aguas residuales domésticas también tienen otros constituyentes de naturaleza particulada y disuelta, que incluyen biomasa viva, arenilla, aniones y cationes. Todos estos componentes deben tratarse en la planta de tratamiento de aguas residuales, de ahí la necesidad de partir como punto base con la caracterización de las aguas residuales [20].

La cantidad y la concentración de cada fracción se evalúa químicamente. La prueba de demanda química de oxígeno (DQO) constituye la base para especificar las diversas fracciones de materia orgánica, el nitrógeno total Kjeldahl (TKN) y las pruebas de amoníaco libre y salino (FSA) forman la base para especificar los diferentes componentes del nitrógeno (N) y Las pruebas de fósforo total (TP) y ortofosfato (OP) forman la base para especificar los constituyentes del fósforo (P) de las aguas residuales. La caracterización química también implica la medición de la alcalinidad total y el pH [21].

2.2.4. Fracción orgánica en aguas residuales domésticas

La DQO de aguas residuales domésticas se divide en tres fracciones principales, biomasa no biodegradable, biodegradable y activa. La DQO no biodegradable tiene dos fracciones, las partículas no biodegradables y los solubles no biodegradables. La DQO biodegradable también tiene dos fracciones, la DQO lentamente biodegradable y fácilmente biodegradable. La biomasa activa está constituida por organismos heterótrofos y autótrofos [22].

A. Fracción microbiológica en aguas residuales domésticas

Como parte de su carga microbiológica contaminante, las aguas residuales provenientes de las viviendas y comercios presentan grupos de microorganismos patógenos y no patógenos, entre ellos se destaca el virus de la hepatitis. Además, otros microorganismos conocidos son los llamados coliformes que pueden clasificarse en totales, fecales y termotolerantes, estos son usados como indicadores de contaminación de las aguas residuales, medidos en NMP/100mL [23].

2.2.5. Efectos de las aguas residuales domésticas en la naturaleza y en la salud

En muchos lugares del planeta, el vertimiento desmedido de aguas contaminadas no tratadas o parcialmente tratadas se ha vuelto la causa principal de diversas enfermedades gastrointestinales y problemas relacionados con el hígado y el riñón principalmente. Dado que los vertimientos de las aguas residuales provocan la desestabilización de las aguas, los animales que viven en los mares mueren, afectando de manera directa la cadena trófica y de manera indirecta al hombre [24].

Por caracterización se sabe que las aguas residuales están compuestas de material orgánico, nitrógeno, fósforo, microorganismos patógenos, metales pesados, aceites, grasas, entre otros productos químicos que alteran la composición original de los ecosistemas con los que entran en contacto. Diversos estudios ambientales revelan que estos vertimientos excesivos y sin control están causando un desequilibrio en la naturaleza, empezando desde la vida acuática hasta afectaciones a las poblaciones [25].

2.2.6. Microorganismos contaminantes en las aguas residuales

La transmisión de patógenos microbianos por el agua, especialmente el agua potable, es una causa importante de enfermedades transmitidas por el agua en todo

el mundo. En los países en desarrollo, principalmente en el sur de Asia y África, las enfermedades microbianas relacionadas con el agua, como el cólera y la fiebre tifoidea, representan un grave riesgo para la salud pública de la población local. Los que viven en áreas con malas prácticas de higiene y atención médica, especialmente los niños menores de cinco años, son los más afectados [26]. Las áreas industrializadas, como América del Norte y Europa, eliminaron muchas enfermedades entéricas endémicas mediante la implementación de filtración y cloración para el agua potable; sin embargo, los brotes de agua asociados con patógenos microbianos todavía ocurren con frecuencia [27].

Se ha demostrado que la mayoría de los microbios patógenos se derivan fecalmente, lo que incluye bacterias, virus y protozoos [28]. Las fuentes puntuales (PS) de la contaminación incluyen principalmente las aguas residuales, los hospitales y las industrias no tratadas / no tratadas. Las fuentes no puntuales (NPS, por sus siglas en inglés) provienen en gran parte del agua de escorrentía de las áreas agrícolas y de pasto y áreas urbanas [29].

A. Bacterias fecales indicadoras

Es imposible y poco práctico realizar pruebas para todos los microbios patógenos potenciales. Además, los patógenos transmitidos por el agua tienden a viajar a través del medio ambiente y pueden diluirse por debajo de los límites de detección normales, aunque aún estén presentes en concentraciones clínicamente importantes. Estas limitaciones llevaron al nacimiento de la idea del indicador: utilizar microorganismos fácilmente detectables y representativos para indicar la presencia de contaminación fecal y, por lo tanto, un riesgo elevado de contaminación microbiológica en el agua [30].

Actualmente, los coliformes totales, coliformes fecales, *E. Coli*, estreptococos fecales y enterococos son los FIB más utilizados en todo el mundo para la calidad microbiológica del agua.

B. Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes (también conocidos como coliformes fecales), un subconjunto de bacterias coliformes totales, se definen como coliformes que pueden fermentar la lactosa a una temperatura de 44 °C - 45 °C en un medio con sales biliares. Comprenden principalmente especies de

Escherichia y, en menor medida, miembros del grupo KESC (*Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia* y *Citrobacter*) [31].

Los coliformes termotolerantes son de origen más específico en materia fecal en comparación con los coliformes totales. Por lo tanto, el término coliformes fecales fue empleado históricamente y todavía está en uso. Se creía que la incubación a temperatura elevada podía distinguir los coliformes de origen puramente fecales de los que no lo están, lo que finalmente se demuestra que no es del todo cierto. Por ejemplo, se informa que hasta el 84 % de los coliformes fecales eran *Klebsiella*, mientras que se encontró que algunas especies de *Klebsiella* tienen fuentes no fecales, como residuos de celulosa y papeleras [32]. Por lo tanto, el uso de coliformes fecales como índice de contaminación fecal está comprometido, aunque muchas áreas todavía los están utilizando como indicadores fecales [33].

E. Coli es una especie única en los grupos de coliformes fecales y *Escherichia*. Se define taxonómicamente como un miembro de la familia Enterobacteriácea que posee las enzimas β galactosidasa y β -glucuronidasa. Generalmente puede fermentar lactosa y manitol a 37 °C y 44 °C a 45 °C con la producción de ácido y gas, aunque algunas cepas no pueden crecer a 44 °C a 45 °C, algunas no poseen enzima β -glucuronidasa, y algunos no producen gas [30].

2.2.7. Procesos de oxidación avanzada (POA)

2.2.7.1. POA y su acción en la degradación de contaminantes químicos y microbiológicos.

Debido a la naturaleza recalcitrante de muchos MPs existentes, se ha demostrado que los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico existentes no pueden degradarlos de manera eficiente en las PTAR [34]. Después, su eliminación se basa en un tratamiento cuaternario adicional, como el tratamiento de oxidación avanzada. Estos procesos han mineralizado o convertido con éxito a los MPs persistentes a formas menos dañinas [35]. Los AOP se pueden utilizar como procesos de tratamiento previo o post-biológico. Dependiendo del objetivo, pueden lograr la conversión de contaminantes recalcitrantes a biodegradables, o actuar como un paso de pulido. En los casos respectivos, el tiempo de residencia en el tratamiento biológico se reduce o el contenido residual de contaminantes puede eliminarse [36].

La ozonización y los AOP son tecnologías redox con la característica principal de la no selectividad en el objetivo y comparten la producción del radical hidroxilo altamente oxidativo (HO). Después del flúor, el HO es el segundo oxidante más poderoso (3,03 eV, comparado con 2,80 eV), con velocidades de reacción que varían de $10^{-6} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a $10^{-9} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ [37].

Los AOP normalmente involucran productos químicos (metales, ozono o peróxido de hidrógeno) y una fuente de energía auxiliar, como luz ultravioleta o visible, electricidad, ultrasonido o radiación. [38]. Algunos ejemplos de AOPs son:

- A base de ozono: $\text{O}_3 / \text{H}_2\text{O}_2$, O_3 / UV , $\text{O}_3 / \text{UV} / \text{H}_2\text{O}_2$
- Base UV: UV, UV / H_2O_2
- Relacionados con Fenton: (Fe / H_2O_2), incluyendo foto-Fenton, electro-Fenton, etc.
- Fotocatálisis heterogénea, como ($\text{TiO}_2 / h\nu$)
- γ -radiolisis
- Basado en ultrasonido: sonólisis, Fenton soportado por ultrasonido, etc.

Aunque el radical hidroxilo es el principal agente oxidante en estos procesos, su uso suele provocar la formación y participación de otras especies reactivas del oxígeno (ROS), como los radicales anión superóxido, los radicales hidroperóxidos y otras especies reactivas del oxígeno (ROS). y oxígeno triplete, etc. [38]. Otra ventaja principal de la aplicación de AOPs es la versatilidad característica con la que se puede lograr el método. Por ejemplo, la fotólisis actúa directa o indirectamente, por absorción de energía y agentes de excitación o fotosensibilizantes, típicamente materia orgánica disuelta (DOM) [35].

2.2.7.2. Procesos basados en UV (UV, UV/ H_2O_2)

El tratamiento UV consiste en la foto-transformación directa de compuestos orgánicos. En la fotólisis directa UV, el micropolutante debe absorber la radiación incidente y sufrir degradación a partir de su estado excitado. Este tratamiento ha sido el método de irradiación más conocido y ampliamente utilizado para iniciar procesos de degradación oxidativa. Algunos contaminantes orgánicos absorben de manera efectiva la luz UV - C directamente, y la absorción de esta alta energía

puede causar la destrucción de las sustancias químicas y la subsiguiente descomposición del contaminante [39].

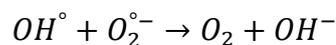
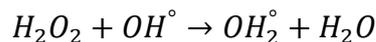
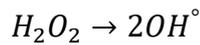
Los principales factores que afectarán la degradación de los MP en los procesos de UVC asistida por luz UV/H₂O₂ son la absorción de UV y su rendimiento cuántico [40]. El coeficiente de absorción molar, es decir, la absorción de rayos UV es una indicación de la fuerza con que una molécula absorbe los rayos UV y, en consecuencia, causa su degradación [35]. En principio, la cinética de reacción del sustrato orgánico con el oxidante se describe por la ley de segundo orden, como sigue:

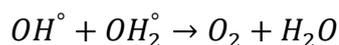
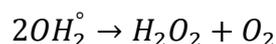
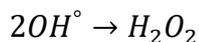
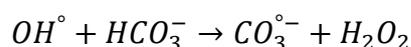
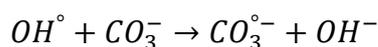
Ecuación (1):

$$r(-M) = \frac{d[M]_t}{dt} = k_{oxidante,M}[M][oxidante]$$

donde r (-M) representa la tasa de degradación del MP. Al mismo tiempo, la fotólisis directa contribuye de la manera dual mencionada anteriormente, siempre que estén presentes otros constituyentes de WW y características fisicoquímicas, como las condiciones de pH [34]. Otros factores importantes incluyen la concentración del compuesto objetivo, el pH de la matriz, la cantidad de H₂O₂, la presencia/ausencia de compuestos de eliminación (por ejemplo, bicarbonatos) y el tiempo de reacción.

El tratamiento con UV/H₂O₂ se considera un proceso de oxidación avanzado porque implica la generación de radicales hidroxilos (HO) producidos por la escisión homolítica del peróxido de hidrógeno. La fotólisis de H₂O₂ produce dos radicales HO por fotón absorbido. Los radicales hidroxilos son oxidantes fuertes (E= 2,8 V) con reactividad rápida debido a su no selectividad. La eficiencia del proceso dependerá en gran medida de la velocidad de producción de HO. Las reacciones más básicas de iniciación, propagación y terminación con componentes principales en el agua son las siguientes [41]:





El coeficiente de absorción molar de H_2O_2 es de solo $18,7 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 254 nm. Por lo tanto, la eficiencia del proceso de UV/ H_2O_2 disminuye drásticamente con la presencia de fuertes absorbentes de fotones o cuando la absorbencia de UV del contaminante objetivo es alta [42].

2.3. Definición de términos básicos

- A. Proceso de oxidación avanzada (POA): son una alternativa tecnológicamente viable y novedosa para el tratamiento de los efluentes degradar sustancias tóxicas de tipo orgánico e inorgánico, como sustancias químicas o patógenos, principalmente, debido a la generación de radicales hidroxilos que poseen un alto potencial redox [8].
- B. Coliformes termotolerantes: Son un grupo de microorganismos que indican contaminación fecal y patógenos. Contienen todas las bacterias aerobias gramnegativas o anaerobias facultativas que no forman esporas y que fermentan la lactosa a $35 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 horas para formar ácido y gas (CO_2) [10].
- C. Aguas residuales: Se entiende como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos [14].
- D. Agua residual doméstica: Proveniente de las heces y la orina higiene personal, cocina y limpieza. suelen contener una gran cantidad de materia orgánica y microorganismos y restos de jabón, detergentes, lejías y grasas [14].

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método general

El método general que se aplicó fue el método deductivo, analítico y sistémico debido a que se realizó un análisis de un conocimiento general como punto de partida para nuevos razonamientos lógicos y conclusiones para casos específicos. [43].

3.1.2. Método específico

El método en específico que se aplicó fue experimental debido a la aplicación de la observación, manipulación y registro de las variables que afectaran al estudio [43].

3.1.3. Tipo de investigación

La investigación presentada fue del tipo aplicada, cuyo fundamento principal fueron los antecedentes y teorías recabadas que se constituyeron en la base para el desarrollo de la experimentación, en donde se evaluó el efecto de las variables independientes del proceso sobre la variable dependiente [44].

3.1.4. Nivel de investigación

La investigación tuvo un nivel de investigación experimental o también denominada predictiva, pues se pretendió demostrar que las alteraciones producidas en la variable dependiente se debieron a la interacción de las variables independientes [44].

3.2. Diseño de la investigación

Se aplicó un diseño DBCA con un arreglo factorial 3^2 , en donde se presentaron las interacciones de los 2 factores (dosis de peróxido de hidrógeno y tiempo de exposición a los rayos UV) los cuales tuvieron 3 niveles por cada factor y se realizaron 3 réplicas adicionales al ensayo principal, teniendo un total de 9 pruebas experimentales por cada réplica que hacen un total de 27 pruebas experimentales de eliminación de coliformes termotolerantes [45]. Además, se considera 1 prueba del testigo absoluto.

Tabla 2: Datos de las variables independientes para el diseño factorial

	Dosis de H₂O₂ 30 mL	Dosis de H₂O₂ 40 mL	Dosis de H₂O₂ 50 mL
T.E.	%E.CT_R1	%E.CT_R1	%E.CT_R1
UV=30	%E.CT_R2	%E.CT_R2	%E.CT_R2
min	%E.CT_R3	%E.CT_R3	%E.CT_R3
T.E.	%E.CT_R1	%E.CT_R1	%E.CT_R1
UV=45	%E.CT_R2	%E.CT_R2	%E.CT_R2
min	%E.CT_R3	%E.CT_R3	%E.CT_R3
T.E.	%E.CT_R1	%E.CT_R1	%E.CT_R1
UV=60	%E.CT_R2	%E.CT_R2	%E.CT_R2
min	%E.CT_R3	%E.CT_R3	%E.CT_R3

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

%E. CT_Rx: Porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes en cada réplica 1, 2 y 3.

Tabla 3: Datos de las variables independientes para el testigo

Testigo absoluto	
T.E.	Dosis de H₂O₂
UV=0	0 mL
min	
%E. CT	

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

%E. CT: Porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población para la investigación fueron las aguas residuales domésticas del colector Leoncio Prado-Chilca, las cuales, al tener diferentes caudales y cantidades según el tiempo y actividades realizadas varía, y es considerada como población infinita.

3.3.2. Muestra

La muestra fue hallada mediante la aplicación de la fórmula para una población infinita, dicha muestra fue usada para cada prueba experimental y se determina mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$n = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

- n= muestra
- Z es el intervalo de confianza al cuadrado, en este caso se pide que sea del 95%, lo que indica que sería 1,96 al cuadrado
- "p" y "q" sería 50%.
- Entre el margen de error de 7%.

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,07^2}$$

$$n = 196 \text{ mL}$$

Al aplicar la fórmula se determinó entonces el valor de muestra usado para las pruebas de experimentación de este estudio, se dio un volumen de 196 mL que fue redondeado a 200 mL de aguas residuales del tipo domésticas del colector Leoncio Prado de Chilca - Huancayo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación las técnicas de apoyo fueron: los muestreos de las aguas residuales del tipo domésticas recolectadas del colector Leoncio Prado de Chilca, las pruebas de experimentación que se realizaron para la eliminación de coliformes termotolerantes y los análisis microbiológicos realizados en el laboratorio tanto antes, como después del tratamiento.

3.4.1. Técnicas e instrumentos

Para la presente investigación los instrumentos de apoyo fueron los protocolos que brinda el portal del Ministerio del Ambiente para el adecuado procedimiento de muestreo, los artículos de investigación referentes a la temática desarrollada, los reportes que fueron enviados por el laboratorio tanto para el análisis inicial como para los resultados después del tratamiento.

3.4.2. Materiales

Monitoreo

- Cooler
- Botellas de 500 mL de vidrio ámbar
- Botella de 1000 mL de plásticos
- Refrigerantes
- Brazo muestreador
- Pizarras
- GPS
- Multiparámetro

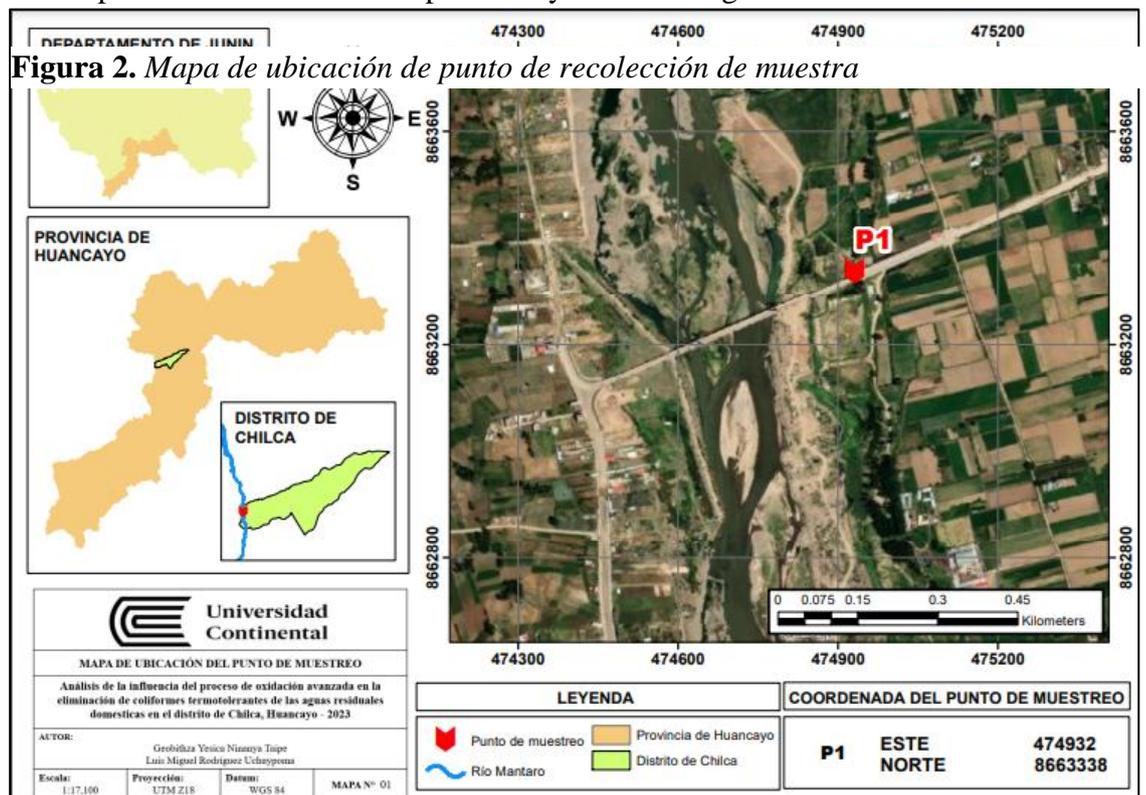
Experimental

- Vasos de precipitación de 250 mL
- Agitadores magnéticos
- Lámparas UV

3.4.3. Procedimientos

3.4.3.1. Etapa de pre-campo

- a) Se identificó la accesibilidad del lugar para la recolección de muestras para ello se realiza un mapeo con ayuda del Google Earth.



Fuente: Elaboración propia

- b) Se revisó que los materiales para almacenar la muestra, se encuentren esterilizados y acondicionaron adecuadamente.
- c) Se revisó que los envases a usar para el muestreo se encuentren rotulados y con la información necesaria para su identificación.
- d) Se alistó la cadena de custodia, registros necesarios como tableros, lapicero, plumones y pizarras para hacer anotaciones necesarias mencionados en el protocolo.
- e) Además de los equipos de campo, se verificó que estén debidamente calibrados y en sus maletas de transporte.
- f) Se alistaron los refrigerantes para poder preservar las muestras hasta su envío a laboratorio.
- g) Se alistaron los EPPs necesarios para la recolección de muestras como: zapatos o botas de seguridad, lentes, mascarilla y guantes desechables.

3.4.3.2. Etapa de campo

- a) El muestreo fue realizado el día 08 de agosto del 2023 a las 8:00 am (Ver anexo A)
- b) Se desarrolló un muestreo puntual debido a que se realizó en el colector Leoncio Prado en el cual llegan todas las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca-Huancayo, este tipo de muestreo es útil para determinar la composición de las aguas residuales en un momento determinado y además se considera que es representativa, para ello se siguió del protocolo propuesto por el Ministerio de la Vivienda [46]. En base al mismo protocolo, se colectaron también muestras para los ensayos experimentales.
- c) Llegado al lugar de toma de muestra, a las 8 de la mañana se registraron el punto exacto del muestreo usando para ello un GPS y se apuntó en el registro correspondiente en coordenadas UTM.
- d) Se tomó una muestra de 500 mL de agua de la cual con ayuda del equipo de monitoreo se consideró los parámetros de campo pH, conductividad y temperatura.
- e) Se colectaron muestras de 500 mL aguas residuales domésticas en envases de vidrio previamente esterilizados para posteriormente se

almacenarlo en un cooler para ser transportados y analizados posteriormente en un laboratorio para el respectivo análisis microbiológico.

- f) Esta muestra fue llevada al laboratorio manteniéndolo con 2 ice pack a una temperatura menor de 4 °C dentro de las 24 horas, para su análisis.
- g) Para la parte experimental se tomó 6L de muestra en un balde de plástico previamente esterilizado y desinfectado.

3.4.3.3. Etapa de experimentación

Acondicionamiento de las aguas residuales domésticas colectadas a pH 4

- A) Se trabajó con 200 mL de muestra de agua residual para cada una de las pruebas experimentales, para ello se usó vasos de precipitación de 500 mL.
- B) Se realizó la filtración de la muestra colectada con ayuda de una tela de filtro.
- C) Se midió el pH inicial de la muestra colectada de agua residual doméstica. Se ajustó el pH de la muestra a un valor de 4, para ello se usó HCl 1,0 M. [47]

Desarrollo de pruebas experimentales aplicando el proceso de oxidación avanzada (UV/peróxido de hidrógeno)

- a) Se comenzó adecuando el vaso precipitado de 500 mL con la muestra de agua residual (modificada con pH 4) a un agitador magnético.
- b) En la parte superior se acondicionó una lámpara UV de 16 Watts y 44 cm de longitud de onda [48]. Una vez adaptado el sistema, se lo cubrió con papel metálico, de tal manera se evitó la radiación al ambiente.
- c) Las muestras fueron agitadas a 120 rpm y mientras ocurrió ello, se agregó el peróxido de hidrógeno al 30% y los volúmenes agregados fueron de 30 mL y 50 mL [47] de acuerdo al diseño experimental. Se agregó también como catalizador 1 g de óxido de zinc para cada ensayo experimental.
- d) Cada prueba estuvo expuesta a la radiación UV por periodos de 30 minutos y 60 minutos de acuerdo al diseño experimental [48]. Al finalizar el proceso, las muestras serán filtradas, usando para ello papel

filtro N° 41 Whatman y se colectaron alícuotas de 20 mL para su respectivo análisis.

3.4.3.4. Etapa de laboratorio

Se procedió a enviar las muestras tratadas en las condiciones mencionadas por el laboratorio que se contrató “GRUPO JHACC SAC” para el análisis de coliformes termotolerantes.

3.4.3.5. Etapa de gabinete

Los reportes otorgados por el laboratorio fueron revisados para asegurar la conformidad de los datos personales que estos tengan y se procedió a realizar el análisis de estos resultados

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Caracterización de las aguas residuales del colector Leoncio Prado-Chilca

Las concentraciones iniciales de coliformes termotolerantes de las muestras de aguas residuales del colector Leoncio Prado-Chilca.

Tabla 3. *Coordenadas de ubicación del colector Leoncio Prado*

Código	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)
	Norte	Este	
PAR-01	8663338	474932	3201

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. *Caracterización del agua residual del colector Leoncio Prado*

Código	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (uS/cm)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)
PAR-01	8,20	16,50	1490,00	>110000

Fuente: Elaboración propia

Esta concentración de coliformes termotolerantes obtenido de mayor a 110000 NMP/100mL sobrepasa los LMP para efluentes de PTAR para vertimiento en cuerpos receptores (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAN) que es de 10000 NMP/100 mL.

4.1.2. Dosis de H₂O₂ al 30% y tiempo de exposición a los rayos UV en la eliminación de coliformes termotolerantes.

Para determinar los efectos de la dosis de H₂O₂ al 30% y tiempo de exposición a los rayos UV en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes; se utilizó dosis de H₂O₂ al 30% de 30 mL, 40 mL y 50 mL, tiempos de exposición de 30 minutos, 45 minutos y 60 minutos; los resultados son expuestos en la tabla 5.

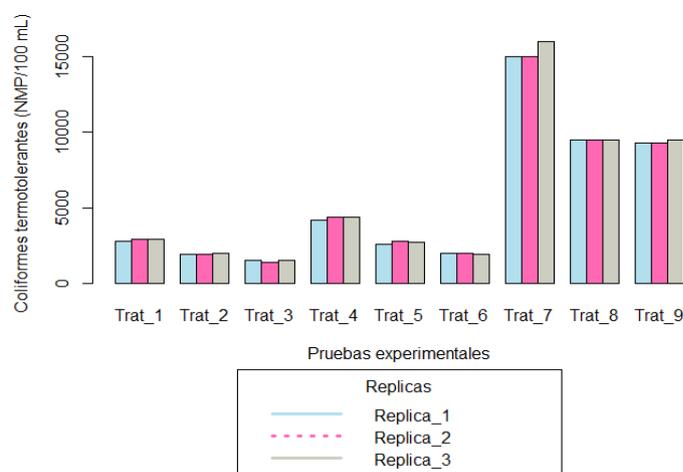
Tabla 5. *Remoción de coliformes termotolerantes*

Dosis de H ₂ O ₂ (mL)	Tiempo (min)	RI	RII	RIII	Promedio
		Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)			
30	30	2800	2900	2900	2867
	45	1900	1900	2000	1933
	60	1500	1400	1500	1467
40	30	4200	4400	4400	4333
	45	2600	2800	2700	2700
	60	2000	2000	1900	1967
50	30	15000	15000	16000	15333
	45	9500	9500	9500	9500
	60	9300	9300	9500	9367

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se puede observar los resultados de la eliminación de coliformes termotolerantes del proceso de oxidación avanzada, donde se observa que la mayor eliminación de coliformes termotolerantes en las réplicas I,II y III fueron de 1500 NMP/100mL, 1400NMP/100mL y 1500 NMP/100mL respectivamente, esto se realizó a condiciones de trabajo de dosis de peróxido de hidrógeno de 30 mL y 60 min de tiempo de exposición, además con todos los resultados de la investigación a excepción de los trabajados a dosis de 50 mL y 30 min de tiempo se logró llegar a estar dentro de los LMP para efluentes de PTAR para vertimiento en cuerpos receptores.

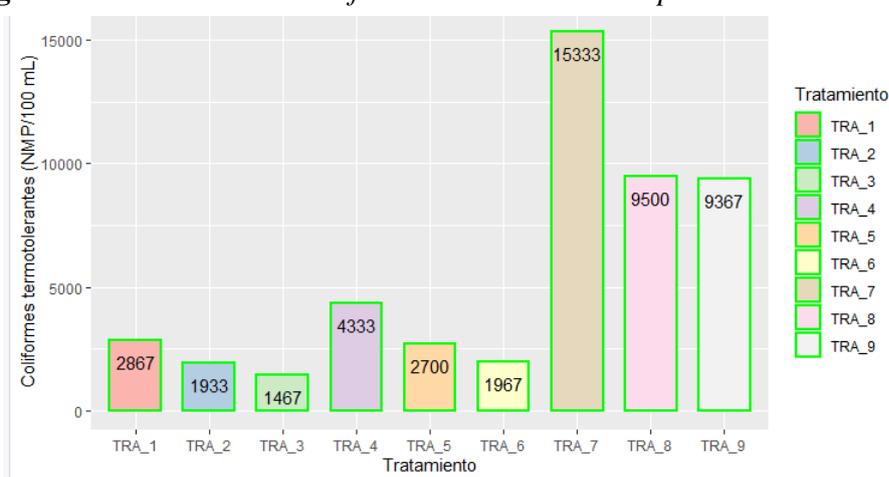
Figura 3. *Eliminación de coliformes termotolerantes replicas*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se puede observar un gráfico de barras de todos los resultados obtenidos y sus réplicas, a partir de este gráfico podemos decir que el tratamiento 2 y 3 son los que lograron mejor eliminación de coliformes termotolerantes, mientras que el tratamiento 7 es el que presenta menor eliminación de coliformes termotolerantes pues los resultados obtenidos son mayores a 10000 NMP/100mL lo cual aún no permite que el agua residual esté dentro de los LMP para efluentes de PTAR para vertimiento en cuerpos receptores.

Figura 4. Eliminación de coliformes termotolerantes promedio



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se puede observar un gráfico de barras de todos los resultados promedios, a partir de este gráfico podemos decir que el tratamiento 3 es el que logró mejor eliminación de coliformes termotolerantes llegando a obtener 1467 NMP/100mL, mientras que el tratamiento 7 es el que presenta menor eliminación de coliformes termotolerantes pues los resultados obtenidos son mayores a 10000 NMP/100mL lo cual aún no permite que el agua residual esté dentro de los LMP para efluentes de PTAR para vertimiento en cuerpos receptores.

A partir de los resultados de la tabla 5 se puede hallar los porcentajes de remoción de turbidez, esto mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

Dónde:

C_o: Coliformes termotolerantes inicial, es decir en un tiempo 0

C_f: Coliformes termotolerantes en un determinado tiempo.

Para el caso de la primera replica en condiciones de dosis de 30 mL y tiempo de 30 min; reemplazando en la ecuación el resultado es:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{(110000 - 2800)}{110000} \times 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 97,45\%$$

De igual forma los cálculos se desarrollaron para todas las condiciones de dosis de H₂O₂ y tiempo de exposición UV.

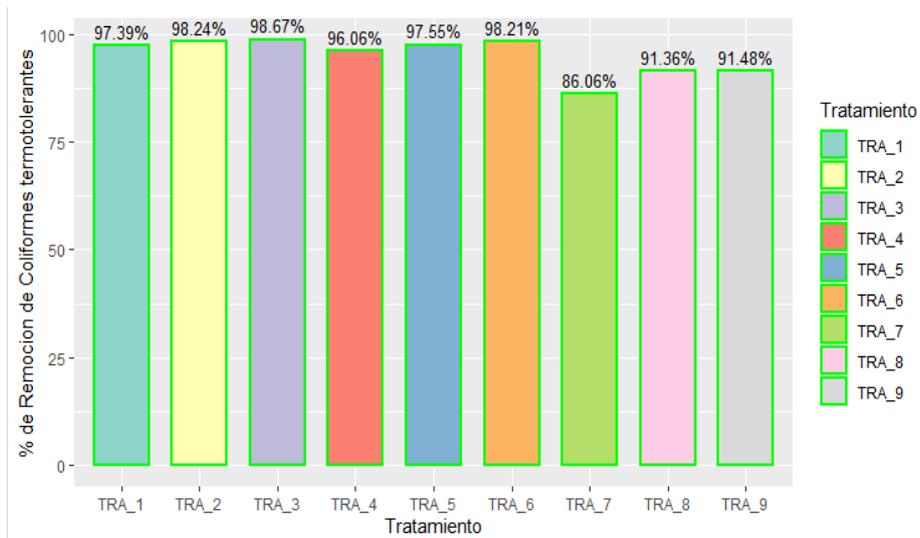
Tabla 6. Porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes

		RI	RII	RIII	Promedio
Dosis de H ₂ O ₂ (mL)	Tiempo (min)	Coliformes termotolerantes	Coliformes termotolerantes	Coliformes termotolerantes	Coliformes termotolerantes
30	30	97,45%	97,36%	97,36%	97,39%
	45	98,27%	98,27%	98,18%	98,24%
	60	98,64%	98,73%	98,64%	98,67%
40	30	96,18%	96,00%	96,00%	96,06%
	45	97,64%	97,45%	97,55%	97,55%
	60	98,18%	98,18%	98,27%	98,21%
50	30	86,36%	86,36%	85,45%	86,06%
	45	91,36%	91,36%	91,36%	91,36%
	60	91,55%	91,55%	91,36%	91,48%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 6 se puede mencionar que el mayor porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes se logró a las condiciones de dosis de 30 mL y tiempo de 60 minutos ya que obtuvo en las 3 réplicas porcentajes mayores al 98,6% de remoción, mientras que a condiciones de dosis de 50 mL y tiempo de 30 minutos se obtuvo el menor porcentaje de eliminación ya que fue menor al 87%. Además, se puede observar que en las diferentes condiciones de trabajo que se usó siempre se obtuvieron más del 85 % de remoción, demostrando como primera impresión que el proceso oxidación avanzada es efectivo para la eliminación de microorganismos.

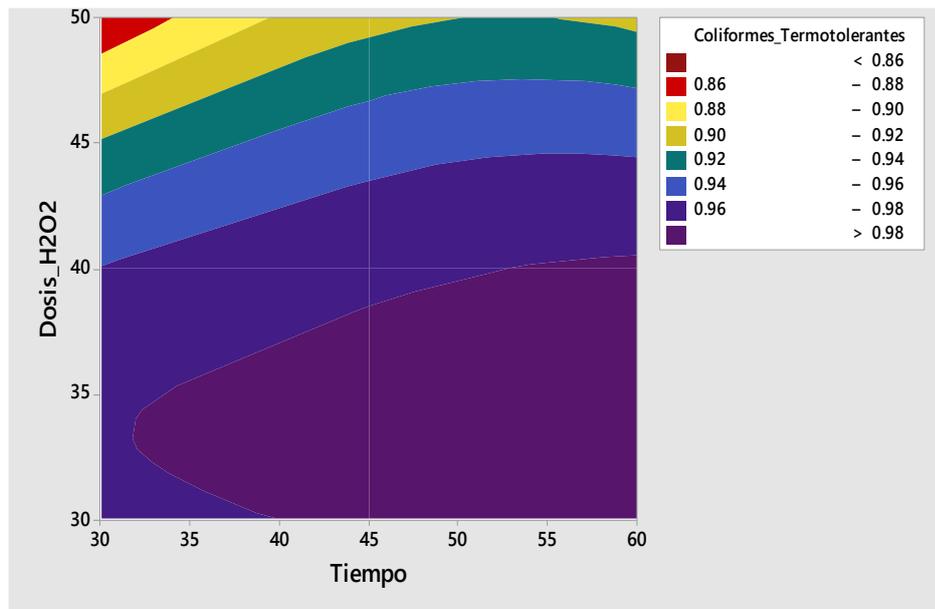
Figura 5. Porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes



Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se puede observar un gráfico de barras de todos los porcentajes promedios, a partir de este gráfico podemos decir que el tratamiento 3 es el que logra mejor porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes llegando a obtener un 98,67%, mientras que el tratamiento 7 es el que presenta menor porcentaje de eliminación del 86,06%, obteniéndose una diferencia de casi el 12% entre ambos tratamientos lo cual es significativo y demuestra la importancia de la manipulación adecuada de las variables de estudio.

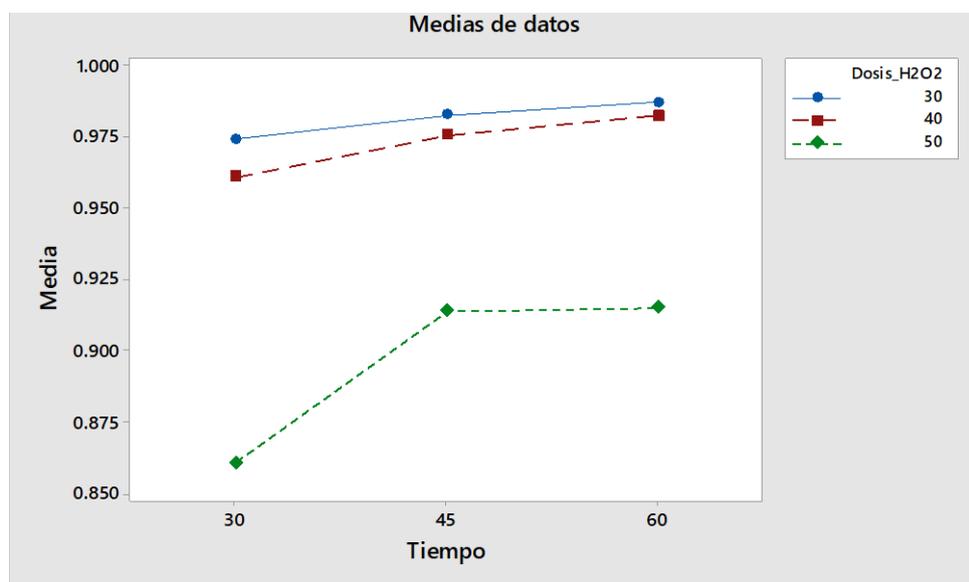
Figura 6. Eliminación de coliformes termotolerantes gráfica de contorno



Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se puede observar que a medida que aumenta el tiempo y es menor la dosis de peróxido de hidrógeno hay mejores resultados pues en el gráfico se observa mayor contorno morado el cual representa resultados de eliminación de coliformes termotolerantes mayores al 98%.

Figura 7. Interacción de dosis de H₂O₂ y tiempo de exposición



Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se puede observar la interacción de las dos variables con la eliminación de coliformes termotolerantes demostrando que la mejor interacción es cuando se utiliza una dosis de 30 mL pues se observa que con los diferentes tiempo obtiene medias mayores al 0,975 sin embargo el mejor tiempo es a 60 min, seguidamente las dosis de 40 mL y 50 mL fueron las que no obtuvieron las mejores interacciones como la de 30 mL, sin embargo obtuvieron buenos resultados pues eliminó coliformes termotolerantes de forma adecuada.

4.1.3. Variación de la dosis de H₂O₂ en la eliminación de coliformes termotolerantes

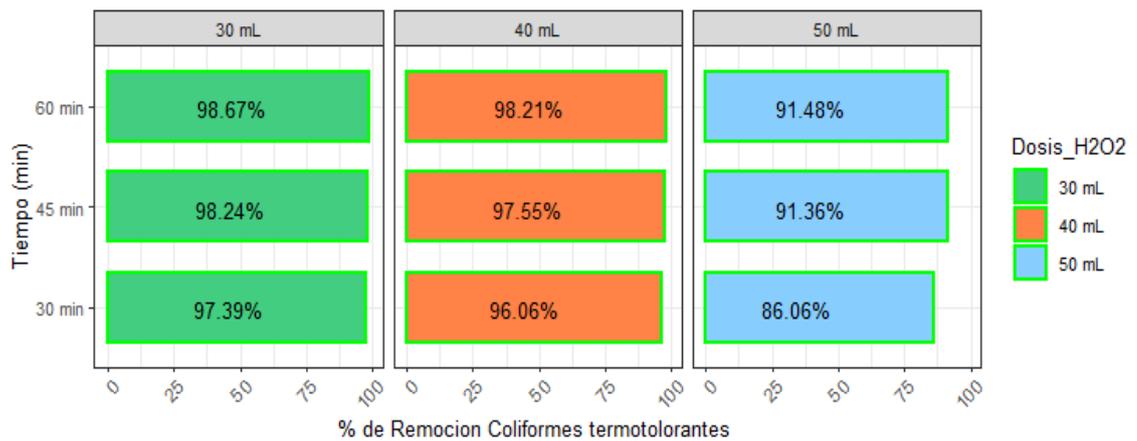
Tabla 7. Variación de dosis de H₂O₂

Dosis de H ₂ O ₂ (mL)	Tiempo (min)	Coliformes termotolerantes
30	30	97,39%
	45	98,24%
	60	98,67%
40	30	96,06%
	45	97,55%
	60	98,21%
50	30	86,06%

45	91,36%
60	91,48%

En la tabla 7, se puede observar que entre los tres niveles de dosis de peróxido de hidrógeno estudiados el que presentó mejor resultado fue el de 30 mL ya que obtuvo eliminación de coliformes termotolerantes mayores al 97% y su mejor porcentaje de eliminación fue de 98,67% a un tiempo de 60 min.

Figura 8. Variación de dosis de H₂O₂



Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se observa que se presentaron mejores resultados de eliminación de coliformes termotolerantes a dosis de 30 mL debido a que tuvieron un porcentaje mayor al 97,3% y la dosis que obtuvo menores porcentajes de eliminación fue el de 60 mL pues obtuvo resultados menores al 91,5%. Por lo cual podemos mencionar que a menor dosis es mayor el porcentaje de eliminación es decir es indirectamente proporcional.

4.1.4. Variación del tiempo de exposición a los rayos UV en la eliminación de coliformes termotolerantes

Tabla 8. Variación del tiempo de exposición UV

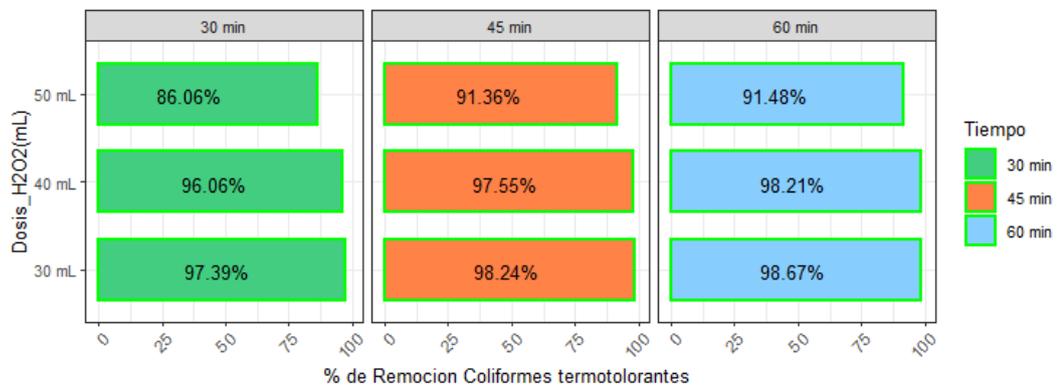
Tiempo (min)	Dosis de H ₂ O ₂ (mL)	Coliformes totales
30	30	97,39%
	40	96,06%
	50	86,06%
45	30	98,24%
	40	97,55%
	50	91,36%

60	30	98,67%
	40	98,21%
	50	91,48%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se puede observar que entre los tres niveles de tiempo de exposición a rayos UV estudiados el que presentó mejor resultado fue el de 60 minutos ya que obtuvo más resultados de eliminación de coliformes termotolerantes mayores al 98% y su mejor porcentaje de eliminación fue del 98,67% a una dosis de 30 mL.

Figura 9. Variación de tiempo de exposición a rayos UV



Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se observa que se presentaron mejores resultados de eliminación de coliformes termotolerantes a un tiempo de 60 min debido a que tuvieron más resultados mayores al 98% y el tiempo que obtuvo menores porcentajes de eliminación fue el de 30 minutos pues obtuvo resultados menores al 97%. Por lo cual podemos mencionar que a mayor tiempo es mayor el porcentaje de eliminación es decir es directamente proporcional.

4.2. Prueba de hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis, primero se identifica el diseño factorial de dos factores con tres niveles es decir un 3^2 , obteniendo 9 pruebas por replica. El análisis se realiza en el programa MINITAB.

Tabla 9. Resumen del diseño factorial 3^2

Factores	2	Réplicas	3
Corridas base	9	Total, de corridas	27
Bloques base	1	Total, de bloques	3

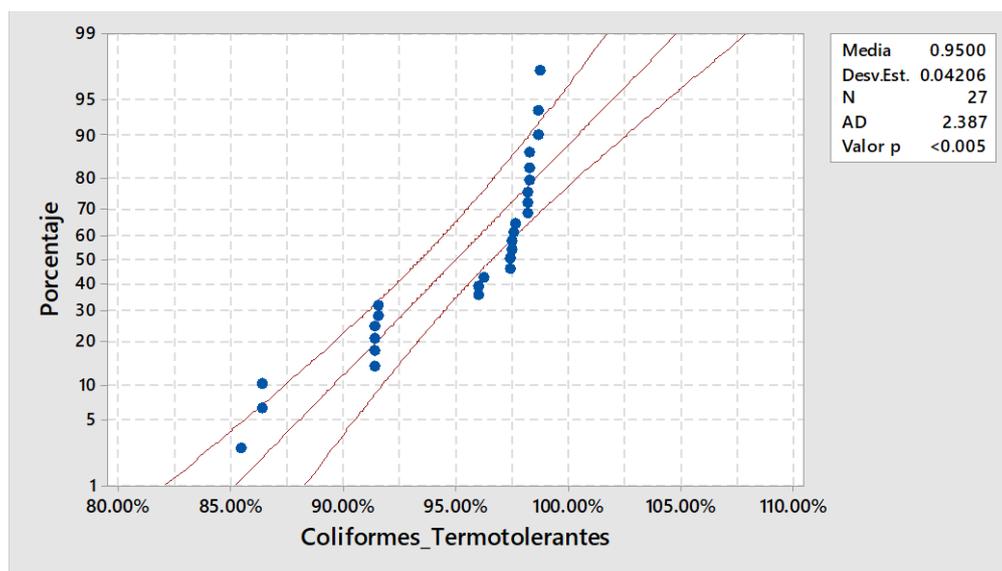
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Información de las variables

Variables	Niveles	Valores
Dosis de H ₂ O ₂	3	30 mL, 40 mL y 50 mL
Tiempo de exposición a rayos UV	3	30 min, 45 min y 60 min

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Prueba de normalidad para la eliminación de coliformes termotolerantes



Fuente: Elaboración propia

La figura 10 nos muestra la prueba de normalidad para la eliminación de coliformes termotolerantes, donde el valor de “p” es menor a 0,005 el cual es menor al nivel de significancia de 0,05, señalando que los datos son provenientes de una población no normal, por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de chi-cuadrado para la hipótesis general y Kruskal-Wallis.

4.2.1. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

H02: La dosificación óptima del peróxido de hidrógeno no influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023.

Ha2: La dosificación óptima del peróxido de hidrógeno influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023.

Tabla 11. *Estadísticas descriptivas*

Dosis_H ₂ O ₂	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
30	9	0.982727	20.7	3.11
40	9	0.975455	16.3	1.05
50	9	0.913636	5.0	-4.17
General	27		14.0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. *Prueba de Kruskal – Wallis para hipótesis específica 1*

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	18.77	0.000
Ajustado para empates	2	18.91	0.000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se muestra el valor de “p” es 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05, la hipótesis alterna planteada es aceptada que la dosificación óptima del peróxido de hidrógeno influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023.

Hipótesis específica 2

H03: El tiempo de exposición óptima del peróxido de hidrógeno influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023.

Ha3: El tiempo de exposición óptima del peróxido de hidrógeno influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023

Tabla 13. *Estadísticas descriptivas*

Tiempo	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
30	9	0.960000	9.1	-2.29
45	9	0.975455	14.8	0.36
60	9	0.981818	18.2	1.93
General	27		14.0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. *Prueba de Kruskal – Wallis para hipótesis específica 2*

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	6.06	0.048
Ajustado para empates	2	6.10	0.047

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se muestra el valor de “p” es 0,047; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05, la hipótesis alterna planteada es aceptada que el tiempo de exposición óptima del peróxido de hidrógeno influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo – 2023

4.2.2. Hipótesis general

Ho: El proceso de oxidación avanzada no influye de manera significativa en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito Chilca, Huancayo – 2023.

Ha: El proceso de oxidación avanzada influye de manera significativa en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023

Tabla 15. Prueba de chi-cuadrada

Chi-cuadrada de Pearson	65,212
r de Pearson	13
Valor p	0,00
Rho de Spearman	-0,06676
r de Pearson	-0,07226

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15, se muestra el valor de “p” es 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05, la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir el proceso de oxidación avanzada influye de manera significativa en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo – 2023.

4.3. Discusión de resultados

Rizvi y sus colegas, en sus estudio del año 2013, relacionados a la desinfección de aguas residuales municipales con H₂O₂, UV, ozono y procesos de oxidación avanzada en su potencial de eliminar patógenos demuestra la eficiencia de los procesos de oxidación avanzada como desinfección de las aguas residuales municipales, eliminando el 99% de los patógenos (coliformes totales, coliformes fecales y E. coli) en un periodo de tiempo de 20 min con una dosis de H₂O₂ de 336 mg / L, alejándose de los resultados de nuestro estudio ya que comprobamos que a menor dosis de peróxido de hidrógeno mejores resultado esto puede ser debido a la concentración del peróxido como químico con las cuales trabajaron ya que este también influiría en la dosis usada, sin embargo en el tiempo de exposición existe una diferencia dado que obtuvo mejores resultados al menor tiempo puede deberse a la potencia de la lámpara usadas en cada uno de las investigaciones lo cual puede influir también en dicha variables, pero en el caso de los resultado se obtuvo eliminaciones de los coliformes termotolerantes parecidos, ya que también en nuestro estudio obtuvimos el 98,67% de eliminación el cual se asemeja al resultado

obtenido en el estudio de Rizvi, confirmando que el uso del proceso de oxidación avanzada es favorable para el tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel microbiológico.

En el estudio realizado por Guillermo Torres del año 2014 menciona que luego de adicionar el H_2O_2 , los coliformes fecales se eliminan totalmente para dosis de peróxido de hidrógeno entre 28 y 70 mM. Sin embargo, al utilizar una dosis de 14 mM de H_2O_2 , la velocidad de remoción disminuye; observándose una remoción de coliformes fecales del 50% a los 5 minutos de reacción, y a los 15 minutos de reacción una remoción total de estos. Se realizaron pruebas adicionales con dosis inferiores de 1 y 7 mM de H_2O_2 y se observó la remoción total de coliformes fecales, lo que indica que la adición mínima de este reactivo oxidante permite la desinfección total del agua, lo cual se corrobora con nuestro estudio dado que al aplicar la dosis mínima de 30mL se obtuvo mejores resultados que dosis mayores. Sin embargo, también nos menciona que cuando es mayor la dosis se incrementaría la velocidad de reacción y por ende sería menor el tiempo lo cual nos lleva a reconocer por qué que nuestros mejores resultados son a un tiempo mayor que fue de 60 min pues al tener menor dosis la velocidad de reacción se dio lenta, pero fue eficiente ya que a pesar de ello los resultados fueron favorables logrando estar dentro de los LMP propuestos por el MINAM y ser superior a los otros tratamientos.

Según la investigación realizada MORILLO, Leandro y compañeros en el año 2019 quienes estudiaron la remoción de tensoactivos y coliformes agua residual de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en Quito, Ecuador en el cual tuvo como resultados que a condiciones de concentración de H_2O_2 de 56,33 mM, relación molar Fe^{2+} : citrato: H_2O_2 . 1:1:9, agitación continua y pH 6 se redujeron por completo los coliformes fecales. Mientras que el tratamiento que dio mejores resultados en nuestro estudio en la eliminación de coliformes termotolerantes fue el que se incorporó 30 mL de H_2O_2 y trabajo un tiempo de 60 min obteniendo resultados de eliminación promedio de 1467 NMP/100 mL y un porcentaje de eficiencia promedio de 98,67%. Además, cabe mencionar que nuestros análisis de resultados demuestran que cuando mayor es la dosis del peróxido de hidrógeno tiende a disminuir el porcentaje de eliminación de los coliformes fecales, por ende, se debe considerar este dato como importante.

De acuerdo con la investigación de Valarezo, Daniela en el año 2018 evaluó la inactivación de *E. coli* en agua de mar mediante oxidación mejorada (POA). Para ello se trabajó con un estanque de camarones el cual contenía 1100 NMP/100 mL de *E. coli*, que es 236 NMP/100 mL más que el agua de entrada, por lo que la oxidación prolongada es una medida efectiva para neutralizar la inactivación ya que en los resultados obtenidos se alcanzó un 99,99% de inactividad. Lo cual puede ser corroborado en nuestro estudio ya que a medida que aplicó mayor tiempo se obtuvieron mejores resultados, pues las condiciones de trabajo de 60 min tuvieron mejor eliminación de coliformes termotolerantes a comparación a los tiempos de 30 min, 45 min y 60 min ya que a esas condiciones se logró llegar hasta el 98,67 % de eliminación.

Además, se sabe que de todos los resultados obtenidos en el estudio se encuentran cumpliendo los LMP para efluentes de PTAR para vertimiento en cuerpos receptores. Y uno no llegó a cumplir los LMP debido a que dicho tratamiento a condiciones de 50 mL de dosis y tiempo de 30 min logró eliminar los coliformes hasta a los 15 333 NMP/100mL el cual sobrepasa en 5333 NMP/100 MI los LMP propuestas por el MINAM.

Así mismo la influencia e importancia de la dosis de peróxido de hidrógeno se debe a que el mecanismo de acción del peróxido de hidrógeno se basa en la oxidación de grupos sulfhídrico y dobles enlaces de las enzimas de las bacterias provocan cambios en las proteínas que forman estas enzimas, haciendo que pierdan su función. y muerte celular. A nivel viral, puede desnaturalizar proteínas cápside para que luego pueda actuar sobre el material genético del virus. El peróxido de hidrógeno tiene un efecto oxidante, formando OH y los radicales libres atacan componentes clave de los microorganismos (lípidos, proteínas y ADN). También se sabe que el peróxido de hidrógeno es un agente oxidante, más poderoso que el cloro, y se descompone en oxígeno y agua. El oxígeno residual presente en el agua después de la reacción de oxidación ayuda a prevenir futuras producciones de sulfuros y otros indeseables contaminantes producidos por bacterias anaeróbicas. Según estudios es considerado un reactivo eficaz frente a virus, bacterias, micobacterias y hongos, y es incluso más eficaz frente a anaerobios, ya que estos microorganismos no producen catalasas, las cuales podrían desactivarlo.

En el caso del tiempo según estudios de Pin Ching Maness et al (1999) mencionan que a los 60 min de irradiación de luz ultravioleta se logró la degradación de la pared celular de la bacteria *Escherichia coli* la cual es una bacteria que pertenece a los coliformes termotolerantes. Esto debido a que mayor tiempo de exposición permite que a absorción de la intensidad luminosa se lleve a cabo cerca de la pared de la lámpara, intensidad que es más alta conforme se acerca a su pared, lo que provoca un aumento en la formación de pares electrón hueco y como consecuencia mayor producción de radicales hidroxilos.

CONCLUSIONES

Se determinó que el proceso de oxidación avanzada tiene una influencia significativa en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, Huancayo, debido a que el valor de p obtenido al analizar los resultados fue de 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05 lo cual nos permite afirmar lo mencionado, además que con condiciones de dosis de 30 mL de H_2O_2 al 30% y 60 minutos de tiempo de exposición a radiación UV se eliminó hasta concentraciones de 1467 NMP/100mL de coliformes termotolerantes el cual representa una eficiencia de 98,7%.

En la caracterización de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chilca, tomada del colector Leoncio Prado presentó valores de pH 8,20; conductividad eléctrica de 1490 $\mu S/cm$ y coliformes termotolerantes mayores a 110000 NMP/100 mL, este último parámetro sobrepasa los LMP propuestas por el MINAM.

Se determinó dosificación óptima del peróxido de hidrógeno al 30% si influye en el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo debido a que el valor de p obtenido al analizar los resultados obtenidos fue de 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05 lo cual nos permite afirmar lo mencionado, además que se determinó que la dosis óptima fue de 30 mL, debido a que estas condiciones se obtuvo los mejores resultados de eliminación de coliformes termotolerantes pues se llegó a obtener porcentajes mayores al 97,3%, siendo el mejor con condiciones de tiempo de 60 min pues se obtuvo el 98,67% de eliminación.

Se determinó que el tiempo de exposición óptima del peróxido de hidrógeno, en el proceso de oxidación avanzada, para la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Chilca, Huancayo, debido a que el valor de p obtenido al analizar los resultados obtenidos, fue de 0,047 el cual es menor al valor de significancia de 0,05 lo cual nos permite afirmar lo mencionado, además se determinó que el tiempo óptimo es de 60 min ya que se obtuvieron resultados de eliminación de coliformes termotolerantes de 98,21 % y 98,67% junto con dosis de peróxido de 40 mL y 30 mL respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el proceso de oxidación avanzada para otros parámetros del agua residual doméstica como DQO, DBO, aceites y grasas los cuales son parámetros que se encuentran en los LMP propuestos por el MINAM, que de esta manera se pueda asegurar que el proceso es completo y útil para tratar completamente dichas aguas y no solo parcialmente.
- Se recomienda analizar otros parámetros de operación en el proceso de oxidación avanzada como el pH, velocidad de agitación entre otras para poder obtener condiciones óptimas de trabajo en todos los parámetros de operación que puedan afectar al proceso.
- Se recomienda evaluar el proceso de oxidación avanzada en otro tipo de aguas para determinar su efectividad y/o influencia en estas y poder conocer en qué tipo de aguas es mejor su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOKOVA, I., & Ryder, G. (2017). Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado. In *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura* (Vol. 3). http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- [2] VALDÉS, Orestes, Miguel LLIIVINA, Daniel ABREU, Teresita MIRANDA a Carmen REINOSO. *Los problemas del medio ambiente: la Educación para el Desarrollo Sostenible en las escuelas, familias y comunidades* [online]. 2015. ISBN 9789591813220. Dostupné z: https://es.unesco.org/sites/default/files/l1_web.pdf
- [3] MOSCOSO, Julio. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. *Ministerio de agricultura y riego* [online]. 2016, 230. Dostupné z: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/manual_de_buenas_practicas_para_el_uso_seguro_y_productivo_de_las_aguas_residuales_domesticas.pdf
- [4] ESTELA, A. F. (2011). Aguas residuales en el Perú, Problemática y uso en la Agricultura. *Autoridad Nacional Del Agua Ministerio, 1*, 19. https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Peru INFORME DE PAIS.pdf
- [5] OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- [6] KHAN, Afzal Husain, Nadeem A. KHAN, Sirajuddin AHMED, Aastha DHINGRA, Chandra Pratap SINGH, Saif Ullah KHAN, Ali Akbar MOHAMMADI, Fazlollah CHANGANI, Mahmood YOUSEFI, Shamshad ALAM, Sergij VAMBOL, Viola VAMBOL, Anwar KHURSHEED a Imran ALI. Application of advanced oxidation processes followed by different treatment technologies for hospital wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2020, **269**. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.122411
- [7] GOMEZ, Julian Felipe, Carlos Alberto QUIROGA a Rafael Nikolay AGUDELO. Treatment of wastewater generated in the graphic communication industry using „Offset” printing. Study case. *Inventum* [online]. 2022, **17**(33), 3–12. ISSN 1909-2520. Dostupné z: doi:10.26620/uniminuto.inventum.17.33.2022.3-12
- [8] MORILLO, Leandro Darío, David Alejandro NARANJO, Jady PÉREZ, William Estuardo VILLACIS OÑATE, Paul VARGAS a Florinella MUÑOZ. Reduction of surfactants and coliforms in domestic wastewater by fenton processes. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [online]. 2019, **35**(4), 931–943. ISSN 01884999. Dostupné z: doi:10.20937/RICA.2019.35.04.12

- [9] VALAREZO, Daniela. *Eliminación de Escherichia coli en agua de mar mediante procesos de oxidación avanzada*. B.m., 2018. Universidad Técnica Particular de Loja.
- [10] GIWA, Adewale, Ahmed YUSUF, Hamed Abiodun BALOGUN, Nonni Soraya SAMBUDI, Muhammad Roil BILAD, Idowu ADEYEMI, Sudip CHAKRABORTY a Stefano CURCIO. Recent advances in advanced oxidation processes for removal of contaminants from water: A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection* [online]. 2021, **146**, 220–256. ISSN 09575820. Dostupné z: doi:10.1016/j.psep.2020.08.015
- [11] FUNES, Julia. *Reducción de la concentración microbiana (Escherichia coli) en aguas de la cuenca baja del río Lurín mediante un procesos de oxidación avanzada*. B.m., 2019. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- [12] RIMAYCUNA, John, Jorge ALEMÁN, Percy NEYRA, Dorian AGUIRRE, Jose SOLIS a Gerardo CRUZ. Application of advanced oxidation technology in the decontamination of wastewater from banana packing in Tumbes. *Manglar* [online]. 2018, **15**(2), 127–134. ISSN 18167667. Dostupné z: doi:10.17268/manglar.2018.015
- [13] TERREROS, Jessica. *Análisis de la influencia de la fotocátalisis heterogénea en la concentración de coliformes totales en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Jauja*. B.m., 2022. Universidad Continental.
- [14] SANCHEZ, Yoshelin Yerly. *Eficiencia de fotocátalisis homogénea en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del frigorífico cárnicos del centro S.A.C. FRICACEN distrito de concepción - Junín 2016* [online]. B.m., 2020. Universidad Alas Peruanas. Dostupné z: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/manual_de_buenas_practicas_para_el_uso_seguro_y_productivo_de_las_aguas_residuales_domesticas.pdf
- [15] ESPIGARES GARCÍA, M a J.A PÉREZ LÓPEZ. *Aguas Residuales. Composición*. 2002
- [16] MENESES, Montse, Jorgelina C. PASQUALINO a Francesc CASTELLS. Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. *Chemosphere* [online]. 2010, **81**(2), 266–272. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2010.05.053
- [17] JUSTO LLOPIS, Ana. *Advanced technologies applied to wastewater treatment plant effluents*. B.m., 2015. Universidad de Barcelona.
- [18] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Correlation and path coefficient studies for yield and its components in mungbean (Vigna Radiata (L.) Wilczek)*. 2009. ISBN 0419229108.
- [19] ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL. *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. 2014.
- [20] HENZE, Mogens a Yves COMEAU. Wastewater Characterization. In: *Water Research* [online]. 2008, s. 20. ISBN 106143009X. Dostupné z: doi:10.2166/wst.2009.242

- [21] MBWE, Alfred. *CHARACTERIZATION OF MUNICIPAL WASTEWATERS*. B.m., 1995. University of Cape Town.
- [22] TAFANGENYASHA MHLANGA, Farai. *MODELLING OF THE MARIANRIDGE WASTEWATER TREATMENT PLANT*. B.m., 2008. University of KwaZulu-Natal.
- [23] WENTZEL, M. C., A. MBEWE a G. A. EKAMA. Batch test for measurement of readily biodegradable COD and active organism concentrations in municipal waste waters. *Water SA*. 1995, **21**(2), 117–124. ISSN 03784738.
- [24] HIDALGO SANTANA, Maritza a Elizabeth MEJÍA ALVAREZ. *Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada La Macana, San Antonio de Prado. municipio de Medellín*. B.m., 2010. b.n.
- [25] LARIOS ORTIZ, Luis. Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Revista Archivo Médico de Camagüey* [online]. 2009, **13**(2), 0–0. Dostupné z: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552009000200017&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [26] QUIROZ FERNÁNDEZ, Luis Santiago, Elena IZQUIERDO KULICH a Carlos MENÉNDEZ GUTIÉRREZ. Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río portoviejo, Ecuador. *Revista Centro Azucar*. 2018, **45**(2), 73–83.
- [27] FENWICK, A. Waterborne infectious diseases - could they be consigned to history? *Science*. 2006, **313**(5795), 1887.
- [28] MEDEMA, G. J., P. PAYMENT, A. DUFOUR, W. ROBERTSON, M. WAITE, P. HUNTER, R. KIRBY a Y. ANDERSSON. Safe drinking water: An ongoing challenge. *Assessing Microbial Safety of Drinking Water: Improving Approaches and Methods* [online]. 2003, **9789264099**, 11–45. Dostupné z: doi:10.1787/9789264099470-en
- [29] LECLERC, H., D. A. A. MOSSEL, S. C. EDBERG a C. B. STRUIJK. Advances in the Bacteriology of the Coliform Group: Their Suitability as Markers of Microbial Water Safety. *Annual Review of Microbiology* [online]. 2002, **55**(1), 201–234. ISSN 0066-4227. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.micro.55.1.201
- [30] CABRAL, João P.S. Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2010, **7**(10), 3657–3703. ISSN 16604601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph7103657
- [31] PAYMENT, P, M WAITE a A DUFOUR. Assessing Microbial Safety of Drinking Water Improving Approaches and Methods WHO Drinking Water Quality Series. *Science of The Total Environment* [online]. 2004, (1991), 47–77. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/S0048-9697(04)00275-X
- [32] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *Society* [online]. 1999, **i**(Reapproved), 1–5. ISSN 0002-9572. Dostupné z: doi:10.1520/E0536-16.2
- [33] CAPLENAS, N. R. a M. S. KANAREK. Thermotolerant non-fecal source *Klebsiella pneumoniae*: Validity of the fecal coliform test in recreational waters. *American Journal of Public Health* [online]. 1984, **74**(11), 1273–1275.

- [34] TALLON, P A M, Brenda MAGAJNA, Cassandra LOFRANCO a Kam tin LEUNG. Microbial indicators of faecal contamination in water. *Springer*. 2005, (Table I), 139–166.
- [35] LUO, Yunlong, Wenshan GUO, Huu Hao NGO, Long Duc NGHIEM, Faisal Ibney HAI, Jian ZHANG, Shuang LIANG a Xiaochang C. WANG. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment* [online]. 2014, **473–474**, 619–641. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2013.12.065
- [36] IKEHATA, Keisuke, Naeimeh JODEIRI NAGHASHKAR a Mohamed GAMAL EL DIN. Degradation of aqueous pharmaceuticals by ozonation and advanced oxidation processes: A review. *Ozone: Science and Engineering* [online]. 2006, **28**(6), 353–414. ISSN 01919512. Dostupné z: doi:10.1080/01919510600985937
- [37] HINCAPIÉ, M., M. I. MALDONADO, I. OLLER, W. GERNJAK, J. A. SÁNCHEZ PÉREZ, M. M. BALLESTEROS a S. MALATO. Solar photocatalytic degradation and detoxification of EU priority substances. *Catalysis Today* [online]. 2005, **101**(3-4 SPEC. ISS.), 203–210. ISSN 09205861. Dostupné z: doi:10.1016/j.cattod.2005.03.004
- [38] MICHAEL, Irene, Zacharias FRONTISTIS a Despo FATTA KASSINOS. *Removal of pharmaceuticals from environmentally relevant matrices by advanced oxidation processes (AOPs)* [online]. 2. vyd. B.m.: Elsevier B.V., 2013. ISBN 9780444626578. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-62657-8.00011-2
- [39] BRAUN, André M. Photochemical Purification of Water and Air. By Thomas Oppenländer. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. 2003, **42**(42), 5117–5117. ISSN 1433-7851. Dostupné z: doi:10.1002/anie.200385988
- [40] GIANNAKIS, Stefanos, Sami RTIMI a Cesar PULGARIN. Light-assisted advanced oxidation processes for the elimination of chemical and microbiological pollution of wastewaters in developed and developing countries. *Molecules* [online]. 2017, **22**(7). ISSN 14203049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules22071070
- [41] LEGRINI, O., E. OLIVEROS a A. M. BRAUN. ChemInform Abstract: Photochemical Processes for Water Treatment. *ChemInform* [online]. 2010, **24**(28), no-no. Dostupné z: doi:10.1002/chin.199328333
- [42] ALPERT, Scott M., Detlef R.U. KNAPPE a Joel J. DUCOSTE. Modeling the UV/hydrogen peroxide advanced oxidation process using computational fluid dynamics. *Water Research* [online]. 2010, **44**(6), 1797–1808. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2009.12.003
- [43] RODRIGUEZ, Andres a Alipio PEREZ. Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. 2017, (82), 179–200.
- [44] HERNÁNDEZ SAMPIERI R, FERNÁNDEZ COLLADO C, BAPTISTA P, Casas M. *Metodología De la Investigación* [online]. 1997. ISBN 9684229313. Dostupné z: https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci3n_Sampieri.pdf

- [45] GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto a Román DE LA VARA SALAZAR. *Análisis y diseño de experimentos* [online]. México: Mc Graw Hill, 2008. ISBN 9789701065266. Dostupné z: doi:10.3906/sag-1507-147
- [46] MINISTERIO DE VIVIENDA, Construcción y Saneamiento. *Protocolo de monitorero de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Dómeísticas o Municipales*. 2014.
- [47] ZAPATA, A., I. OLLER, L. RIZZO, S. HILGERT, M. I. MALDONADO, J. A. SÁNCHEZ-PÉREZ a S. MALATO. Evaluation of operating parameters involved in solar photo-Fenton treatment of wastewater: Interdependence of initial pollutant concentration, temperature, and iron concentration. *Applied Catalysis B: Environmental* [online]. 2010, **97**(1–2), 292–298. ISSN 09263373. Dostupné z: doi:10.1016/j.apcatb.2010.04.020
- [48] DE ABREU, Priscilla, Erlon LOPES PEREIRA, Cláudio Milton MONTENEGRO CAMPOS a Fabiano LUIZ NAVES. Photocatalytic Oxidation Process (UV/H₂O₂/ZnO) in the treatment and sterilization of dairy wastewater. *Acta Scientiarum - Technology* [online]. 2013, **35**(1), 75–81. ISSN 18062563. Dostupné z: doi:10.4025/actascitechnol.v35i1.11132

ANEXOS

A. PARTE EXPERIMENTAL

Monitoreo de aguas residuales del colector de Leoncio Prado

Toma de coordenadas del punto de muestreo



Medición de parámetros de campo



Toma de muestra





Corridas experimentales

Pesado de óxido de zinc



Filtrado de muestra



Ajuste de pH



Medida de la muestra a tratar



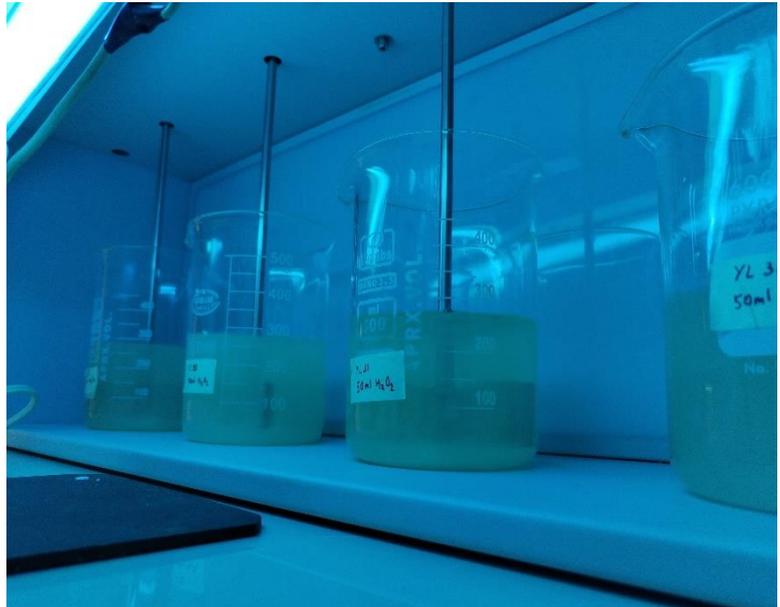
Incorporación de las concentraciones de peroxido de hidrogeno



Incorporación del óxido de zinc



Proceso de oxidación avanzada



Filtrado de muestras tratadas



INFORME DE ENSAYO N° 1-0110/23

Pág. 1/2

Solicitante : Geobithza Yesica Ninanya Taipa
Luis Miguel Rodriguez Uchuypoma

Domicilio legal : Prolong. Próceser S/N - Las Lomas - Chilca
Jr. Garcilazo De La Vega N° 1031 - Chilca

Proyecto : Análisis de la influencia del proceso de oxidación avanzada en la eliminación de coliformes termotolerantes de las aguas

Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual doméstica tratada

Procedencia de la muestra :

Cantidad de muestras para el Ensayo : 27 muestras x 150 mL

Forma de Presentación : 27 Frasco de esterilizado

Fecha de Recepción : 21/08/23

Fecha de Inicio del Ensayo : 21/08/23

Fecha de Término del Ensayo : 24/08/23

Fecha de Emisión de Informe : 25/08/23

N° de Cotización de Servicio :



CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)
YL11-RI	3.4×10^3	2.8×10^3
YL12-RI	2.6×10^3	1.9×10^3
YL13-RI	2.0×10^3	1.5×10^3
YL21-RI	6.4×10^3	4.2×10^3
YL22-RI	4.2×10^3	2.6×10^3
YL23-RI	3.9×10^3	2.0×10^3
YL31-RI	1.6×10^4	1.5×10^4
YL32-RI	1.2×10^4	9.5×10^3
YL33-RI	9.5×10^3	9.3×10^3
YL11-RII	3.5×10^3	2.9×10^3
YL12-RII	2.6×10^3	1.9×10^3
YL13-RII	1.9×10^3	1.4×10^3
YL21-RII	6.4×10^3	4.4×10^3
YL22-RII	4.4×10^3	2.8×10^3
YL23-RII	3.9×10^3	2.0×10^3
YL31-RII	1.5×10^4	1.5×10^4
YL32-RII	1.2×10^4	9.5×10^3
YL33-RII	9.3×10^3	9.3×10^3
YL11-RIII	3.5×10^3	2.9×10^3
YL12-RIII	2.7×10^3	2.0×10^3
YL13-RIII	2.1×10^3	1.5×10^3
YL21-RIII	6.4×10^3	4.4×10^3
YL22-RIII	4.3×10^3	2.7×10^3
YL23-RIII	3.6×10^3	1.9×10^3
YL31-RIII	1.6×10^4	1.6×10^4
YL32-RIII	1.2×10^4	9.5×10^3
YL33-RIII	9.5×10^3	9.3×10^3

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
www.grupojhacc.com

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:

Microbiología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221, 23rd Ed.2017. Microbiological, Multiple-Tube Fermentation Technique

Huancayo, 25 de Agosto de 2023



GRUPO JHACC S.A.C.
Ing. Henry R. Ochoa León
CIP N° 124232
JEFE DE LABORATORIO

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe

*Prohíbida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC

*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
www.grupojhacc.com