

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**“TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL RÍO
SURCO MEDIANTE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORES

JULISSA VERONICA CARACELA CCANCCE

JUDITH FIORELA TAPIA OLIVEROS

ASESOR

Ing. LEONARDO FÉLIX MACHACA GONZALES

LINEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2022

PERÚ

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TÍTULO

“TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL RÍO SURCO MEDIANTE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA”

AUTORES

Judith Fiorela Tapia Oliveros / 0000-0003-0069-4826 / 42989864

Julissa Verónica Caracela Ccancce / 0000-0002-4548-5094 / 42478429

ASESOR

Mg. Leonardo Félix Machaca Gonzales / 0000-0002-3023-1470/ 07275983

LUGAR DE EJECUCIÓN

Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química.

UNIDAD DE ANÁLISIS

Aguas de riego del río Surco

Tipo de Investigación: Experimental / Cuantitativo / Aplicativo

TEMA OCDE: Ingeniería de Procesos



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
IX CICLO DE TESIS
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**ACTA N° 106 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

**LIBRO 01 FOLIO N° 107 ACTA N° 106 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

A los 06 días del mes de noviembre del año 2022, siendo las 08:05 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/bpv-xvfd-mxu>, el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS para la obtención del TÍTULO profesional de Ingeniero Químico de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO	PRESIDENTE
Ing. ANGELES QUEIROLO CARLOS ERNESTO	SECRETARIO
Ing. RANGEL MORALES FABIO MANUEL	VOCAL
Ing. MACHACA GONZALES LEONARDO FELIX	ASESOR

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de las bachilleres **CARACELA CCANCCE JULISSA VERONICA** y **TAPIA OLIVEROS JUDITH FIORELA** quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustentan la tesis titulada **"TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL RÍO SURCO MEDIANTE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado de Sustentación y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **QUINCE (15)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por concluida la sustentación a las 08:50 horas del día 06 de noviembre del año en curso.

Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

Ing. ANGELES QUEIROLO CARLOS ERNESTO
SECRETARIO DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

Ing. RANGEL MORALES FABIO MANUEL
VOCAL DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

Ing. MACHACA GONZALES LEONARDO FELIX
ASESOR DE JURADO DE SUSTENTACIÓN



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
IX CICLO DE TESIS
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

INFORME Nº 007-2022-JS-IXCT-FIQ

DE : Ing. Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN
IX CICLO DE TESIS – FIQ

PARA : Ing. Dr. CALDERON CRUZ JULIO CESAR
DECANO – FIQ

ASUNTO : LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES

FECHA : Bellavista, 19 DE DICIEMBRE DE 2022

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y a su vez comunicarle que al haberse visto y revisado las observaciones formuladas por el Jurado de Sustentación del IX Ciclo de Tesis FIQ a la Tesis titulada **“TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL RÍO SURCO MEDIANTE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA”** presentado por las bachilleres señorita **CARACELA CCANCCE JULISSA VERONICA** y señorita **TAPIA OLIVEROS JUDITH FIORELA** de la Facultad de Ingeniería Química, el Jurado de Sustentación da su conformidad respecto al levantamiento de observaciones para que continúe con los trámites respectivos.

Atentamente.

Ing. Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN
IX CICLO DE TESIS – FIQ

DEDICATORIA

A todos y todas las personas que han hecho posible la educación pública abriendo las puertas del conocimiento a miles de estudiantes sin distinción, brindando de esa manera una oportunidad para salir a delante como profesionales y aportando con nuestros conocimientos al desarrollo de nuestro país. La universidad pública es una potente institución, de ella nace la juventud capaz de cambiar al mundo.

Judith Fiorela Tapia Oliveros

A Dios por darme sabiduría y perseverancia, a mi Jacobita y hermano Mario porque desde donde están me bendicen y me acompañan, a mis padres por su gran esfuerzo en ayudarme a lograr mis metas, a mis hermanos por su constante apoyo y guiarme por el camino al éxito, a la Sra. Margarita Benavente Yañes por sus constantes palabras de superación durante mi vida universitaria y al amor de mi vida mi compañero Luis Castro por su dedicación y preocupación en mi superación profesional.

Julissa Verónica Caracela Ccancce

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Descripción de la realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Justificación	17
1.5. Delimitantes de la investigación	18
II. MARCO TEORICO	19
2.1. Antecedentes	19
2.1.1. Antecedentes internacionales	19
2.1.2. Antecedentes nacionales	23
2.2. Bases teóricas	25
2.2.1. Calidad de agua	25
2.2.2. Agua contaminada del río Surco	26
2.2.3. Normativas y leyes ambientales sobre la calidad del agua de riego	26
2.2.4. Tratamiento de aguas	29
2.3. Marco conceptual	33
2.3.1. El uso del agua en riego	33
2.3.2. Agua del río Surco	35
2.3.3. Cumplimiento de los ECA-agua para riego en los municipios	38
2.4. Definición de términos básicos	38
2.4.1. Lámpara ultravioleta	38
2.4.2. Espectro electromagnético	38
2.4.3. Intensidad de la lámpara ultravioleta	38

III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	39
3.1.	Hipótesis	39
3.1.1.	Operacionalización de variables	39
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO	41
4.1.	Diseño metodológico	41
4.1.1.	Tipo de investigación	41
4.1.2.	Diseño de investigación	41
4.2.	Método de investigación	43
4.3.	Población y muestra	47
4.3.1.	Población	47
4.3.2.	Muestra	47
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	47
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	48
4.5.1.	Técnicas para la recolección y transporte de muestras de agua del río Surco	48
4.5.2.	Instrumentos para la recolección de datos	54
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	57
4.7.	Aspectos éticos en investigación	57
V.	RESULTADOS	58
5.1.	Resultados descriptivos	58
5.1.1.	Caracterización del agua de riego del río Surco	58
5.1.2.	Tratamiento de las aguas del río Surco	59
5.2.	Resultados inferenciales	60
5.2.1.	Análisis estadístico para la reducción de coliformes termotolerantes (%).	60
5.2.2.	Análisis estadístico para la reducción de escherichia coli (%).	65
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	70
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.	70
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	72
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	74
VII.	CONCLUSIONES	75
VIII.	RECOMENDACIONES	76
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

ANEXOS	81
Anexo 1:	82
Matriz de consistencia: Tratamiento de las aguas de riego del río Surco mediante radiación ultravioleta.	82
Anexo 2: Solicitud de pedido de muestra al distrito de Lince	83
Anexo 3: Registro fotográfico de la actividad experimental	84
Anexo 4: Componentes del equipo de tratamiento por radiación	88
Anexo 5: Resultados de laboratorio ALAB	89
Anexo 6: Resultados del reservorio del parque Ramón Castilla	93
Anexo 7: Decreto Supremo N°004-2017-MINAM	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Definición operacional de las variables	40
Tabla 2	Variables de diseño de la parte metodológica	43
Tabla 3	Diseño factorial: factores y niveles	44
Tabla 4	Número de corridas experimentales	45
Tabla 5	Características de las muestras a medir en la toma de agua	51
Tabla 6	Estándares de calidad ambiental del agua para riego según el DS N° 004-2017 MINAM	51
Tabla 7	Métodos de ensayo	52
Tabla 8	Equipos e instrumentos de medición	54
Tabla 9	Materiales para el armado del equipo RUV	55
Tabla 10	Resultados de la caracterización de la muestra en el reservorio del Parque Ramón Castilla	58
Tabla 11	Caracterización del agua de río Surco al ingreso del distrito de Lince - Av. Paseo de la Republica cuadra 26.	59
Tabla 12	Caracterización del agua de riego antes y después del tratamiento.	59
Tabla 13	Estadística descriptiva de los datos de los tratamientos.	60
Tabla 14	Análisis de varianza (ANOVA) para la reducción de coliformes termotolerantes (%).	62
Tabla 15	Resumen del modelo de regresión de la reducción de coliformes termotolerantes (%)	63
Tabla 16	Análisis de varianza para la reducción de escherichia coli (%).	67
Tabla 17	Resumen del modelo de regresión de la reducción de escherichia coli (%).	68
Tabla 18	Porcentajes de reducción significativo después del tratamiento	70
Tabla 19	Componentes del equipo de tratamiento por radiación	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Decreto Supremo N°004-2017-MINAM	30
Figura 2	Efectos de la radiación UV en la cadena genética ADN	32
Figura 3	Horario de uso de agua del río Surco por los usuarios del río Surco	35
Figura 4	Sistema de riego del distrito de Lince	36
Figura 5	Variables para manipular antes de ingresar a la radiación	41
Figura 6	Proceso de tratamiento con radiación ultravioleta	42
Figura 7	Propuesta de ubicación del tratamiento RUV	43
Figura 8	Ruta de canal subterráneo del agua de río Surco en Lince	45
Figura 9	Reservorio de agua del parque Ramón Castilla	46
Figura 10	Canal de ingreso del agua de río Surco al distrito de Lince en la Av. Paseo de la República cdra. 26	46
Figura 11	Recipientes para la recolección de la muestra en el reservorio - Parque Ramón Castilla	49
Figura 12	Recipientes para toma de muestra en el canal de ingreso del agua del río Surco al distrito de Lince	50
Figura 13	Llenado de envases con agua del río para pruebas en el equipo de tratamiento RUV	53
Figura 14	Componentes del equipo RUV	55
Figura 15	Válvulas para direccionar el agua	56
Figura 16	Lampara de radiación ultravioleta	57
Figura 17	Gráfica de probabilidad normal de residuos de la variable reducción de coliformes termotolerantes (%).	61
Figura 18	Diagrama de Pareto de reducción de coliformes termotolerantes (%)	64
Figura 19	Gráfica de efectos principales para la reducción de coliformes termotolerantes (%).	64
Figura 20	Gráfica de contorno para la reducción coliformes termotolerantes vs caudal y filtro.	65
Figura 21	Gráfica de probabilidad normal de residuos de la variable reducción de escherichia coli (%).	66
Figura 22	Diagrama de Pareto de reducción de escherichia coli (%).	68

Figura 23 Gráfica de efectos principales para la reducción de escherichia coli .. (%)..	69
Figura 24 Gráfica de contorno para la reducción escherichia coli vs caudal y filtro.	69
Figura 25 Bloques comparativos del resultado de los tratamientos en cumplimiento con los ECA-agua.	71
Figura 26 Solicitud de muestra	83
Figura 27 Toma de muestra en el reservorio del parque Ramon Castilla	84
Figura 28 Extracción de la muestra	84
Figura 29 Rotulando de envases entregados por el laboratorio	85
Figura 30 Recolección de muestras para ser enviadas al laboratorio ALAB	85
Figura 31 Toma de muestra de agua al ingreso del distrito de Lince en Av. Paseo de la República cuadra 26	86
Figura 32 Ubicación de la toma de agua donde transcurre el canal del río Surco	86
Figura 33 Instalación del equipo de radiación	87
Figura 34 Evaluación de los caudales variantes para la investigación	87
Figura 35 Caracterización	89
Figura 36 Primera corrida	89
Figura 37 Segunda corrida	90
Figura 38 Tercera corrida	90
Figura 39 Cuarta corrida	91
Figura 40 Quinta corrida	91
Figura 41 Sexta corrida	92
Figura 42 Punto de muestreo: Parque Ramón Castilla-reservorio	93

RESUMEN

El tratamiento de las aguas es indispensable para nuestra sociedad y sus características dependen del uso al cual está destinada, el presente trabajo ha investigado las aguas de riego provenientes del río Surco con el objetivo de realizar en ellas el tratamiento mediante radiación ultravioleta para lograr reducir los contaminantes presentes debido a que este río es destinado al riego de parque y jardines. El trabajo fue a nivel experimental donde se tomaron muestras del río Surco al ingreso del distrito de Lince, determinando cinco parámetros para la caracterización de: coliformes termotolerantes (CT), *escherichia coli* (*E. coli*), huevos de helmintos (HH), sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez. La medición para los microorganismos fue utilizando tubos múltiples, para los parásitos se utilizó la cuantificación e identificación de huevos de helmintos, para SST el método gravimétrico y para la turbidez el equipo turbidímetro. En la evaluación de estos parámetros reportaron niveles altos para CT y *E. coli* obteniendo resultados de 70000 NMP/100ml para ambos microorganismos y para huevos de helmintos el valor fue menor a 1 huevo/L, con ello se determinó que los dos primeros parámetros no cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3 agua para riego no restringido (ECA-agua) que indica el DS N°004-2017 MINAM. Para obtener una reducción en los contaminantes se diseñó un equipo de tratamiento a escala piloto que al utilizar el método de la radiación ultravioleta (RUV) en las muestras iniciales se obtuvieron resultados favorables obteniéndose reducciones mayores a 99.75% para coliformes termotolerantes y mayores a 99.81% para *escherichia coli*. Por lo tanto, se concluye que el método de RUV es un tratamiento eficiente para la reducción de contaminantes biológicos provenientes de aguas superficiales.

Palabras claves: Aguas de riego, radiación ultravioleta, microorganismos y sólidos suspendidos totales.

ABSTRACT

The treatment of water is essential for our society and its characteristics depend on the use for which it is intended, the present work has investigated the irrigation water from the Surco River with the aim of treating them by means of ultraviolet radiation to reduce the pollutants present since this river is used for irrigation of parks and gardens. The work was at an experimental level where samples were taken from the Surco River at the entrance to the Lince district, determining five parameters for the characterization of: thermotolerant coliforms (TC), escherichia coli (E. coli), helminth eggs (HH), solids total suspended matter (TSS) and turbidity. The measurement for microorganisms was using multiple tubes, for parasites the quantification and identification of helminth eggs was used, for SST the gravimetric method and for turbidity the turbidimeter equipment.

In the evaluation of these parameters, they reported high levels for CT and E. coli, obtaining results of 70,000 NMP/100ml for both microorganisms and for helminth eggs the value was less than 1 egg/L, with this it was determined that the first two parameters did not they comply with the Environmental Quality Standards for category 3 water for unrestricted irrigation (ECA-water) indicated by DS N°004-2017 MINAM. To obtain a reduction in contaminants, a pilot-scale treatment unit was designed that, using the ultraviolet radiation (UVR) method in the initial samples, obtained favorable results, obtaining reductions greater than 99.75% for thermotolerant coliforms and greater than 99.81% for escherichia coli. Therefore, it is concluded that the UVR method is an efficient treatment for the reduction of biological contaminants from surface water.

Keywords: Irrigation water, ultraviolet radiation, microorganisms, and total suspended solids.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es una preocupación social, por lo general los ríos que se encuentran cercanos a las ciudades padecen una contaminación alta provocada por el mismo accionar antropogénico, estas aguas no son aptas para el uso de consumo humano, la industria y la agricultura. El agua que se utiliza para la agricultura tiene una norma que lo regula y que está dentro de los estándares de calidad ambiental para agua (ECA-agua) donde señala los valores máximos de calidad de agua que deben ser cumplidos por todos aquellos que la utilizan. Las aguas de riego de las áreas verdes están circunscritas en ECA-agua por ello los municipios que utilizan el agua de los ríos para riego deben cumplir el DS 004-2017 MINAM. Pero con bajos presupuestos y falta de espacios públicos para la ubicación de plantas de tratamiento, hacer efectivo el cumplimiento ECA-agua se ve lejano [1]. Existen diversas tecnologías de desinfección de aguas de riego en la que se utilizan a los oxidantes químicos como el cloro con sus derivados y el ozono, pero se caracterizan por dejar efectos negativos residuales contaminando indirectamente el medio ambiente [2].

La desinfección con radiación ultravioleta tiene muchas aplicaciones, es ventajosa y es una tecnología rentable debido a que este tipo de desinfección garantiza que en corto tiempo se reduzca gran cantidad de carga microbiana existente en cualquier tipo de agua. Este tipo de sistema es modular porque su aplicación crece y se expande desde el uso en un domicilio hasta en grandes plantas de tratamientos municipales, por su poca manipulación tiene la gran ventaja de ser fácil de operar y mantenerlo, reduciendo de esta manera el riesgo a la exposición del contacto con algún producto químico que puedan manipular los trabajadores al momento de desinfectar el agua [3]. La propuesta de este trabajo de investigación es aplicar la radiación ultravioleta bajo ciertas condiciones físicas de tal manera demostramos su efectividad sobre la inactivación de microorganismos biológicos dando lugar al cumplimiento de la normativa que rige los ECA-agua de riego, de esa manera sirve como alternativa para el tratamiento de aguas de riego de las municipalidades [1].

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El aumento de la contaminación de los ríos es un agravante para la sociedad en todos los ámbitos, dependiendo del tipo de uso (agua para consumo humano, para la industria, de riego, etc.) se gasta ingentes cantidades de presupuesto económico para descontaminar y métodos complejos con grandes estructuras para dicho fin [4].

Desde hace décadas a nivel mundial el agua residual por su alta concentración de carga microbiana es tratada para su reutilización como agua de riego para áreas verdes y otros usos. El tratamiento de agua mediante radiación ultravioleta (RUV) viene aplicándose desde 1910 en Francia así como en Suiza, Austria, Noruega, Holanda, Reino Unido y Estados Unidos [5].

En países como Ecuador, Colombia, Venezuela, Argentina y Brasil se encuentran en una etapa de investigación sobre la aplicación de la radiación ultravioleta (RUV) en agua para consumo humano, en agua residual y hasta en alimentos. Sus trabajos demuestran la efectividad de la RUV para la inactivación de microorganismos presentes en el agua [3] y [6].

A nivel nacional los tratamientos con RUV para la reducción de microorganismos, sustituyendo el uso de cloro, en las plantas de tratamiento de agua están siendo materia de estudio. En la provincia de Puno se realizaron trabajos de investigación aplicando la RUV en agua cruda para uso como agua de consumo humano sus pruebas lo realizaron en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), estudiando el comportamiento de las concentraciones de coliformes totales y CT en función a distintos tiempo de exposición lográndose resultados favorables [7]. En la provincia de Ayacucho también realizaron trabajos de investigación sobre tratamiento de agua residual aplicando la RUV, su estudio consistió en la búsqueda de los tiempos de retención hidráulico en sistemas estacionarios obteniendo resultados de corto tiempo para la reducción de

microorganismos y por consiguiente lograr su objetivo de mejorar la calidad del agua para uso agrícola [8].

A nivel local la búsqueda de tratamientos de agua para usos de riego de los parques es menor, solo unos distritos con gran presupuesto e infraestructura la desarrollan. Generalmente apuestan por plantas de tratamiento, muchas veces tercerizándolas o tratan principalmente sedimentos de los 43 distritos en Lima Metropolitana y 6 en el Callao solo un porcentaje mínimo trata sus aguas para riego y no está en sus políticas públicas realizarlo [9].

El Ministerio del Ambiente (MINAM) a través del DS 004-2017 en los ECA-agua emiten disposiciones generales sobre el uso correcto del agua que deben ser cumplidos por todas las organizaciones públicas, privadas y la sociedad civil, en estos estándares se establecen los niveles de concentración químicos y biológicos máximos que deben estar presentes en el agua con la finalidad que no representen riesgo significativo para la salud y el medio ambiente. Las aguas en su estado natural muchas veces no pueden ser aplicables directamente a un cuerpo receptor por lo que necesitan ser tratados dependiendo del uso que se les dé, cada distrito opta por un tipo de tratamiento considerando sus condiciones de estructuras y presupuestos, por ello el tratamiento por RUV se presenta como el más adecuado debido a su efectividad, bajo costo y adaptable a los espacios. La RUV es un potente desinfectante que no genera subproductos químicos para las plantas a regar además de ser una tecnología emergente [5].

En la actualidad algunos municipios que riegan sus parques y jardines con agua del río Surco tienen como problema la presencia de contaminantes biológicos a los cuales no le realizan tratamientos, esto hace que incumplan los ECA y que las personas expuestas a esta agua se vean afectadas, por ello la presente investigación realiza en el distrito de Lince la reducción de los parámetros biológicos al problema de agua contaminada mediante RUV por ser un proceso limpio, tecnológico, de bajo costo y sin generación de residuos químicos contaminantes [9].

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo se logrará la reducción de los contaminantes de las aguas de riego del río Surco mediante el tratamiento de radiación ultravioleta?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y biológicas de las aguas de riego del río Surco?
- ✓ ¿Cuáles serán los parámetros de operación adecuados para reducir la carga biológica en el agua del río Surco mediante la radiación ultravioleta?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Reducir la contaminación de las aguas de riego del río Surco mediante el tratamiento de radiación ultravioleta.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar las aguas de riego del río Surco.
- ✓ Determinar los parámetros adecuados para la reducción de la carga biológica en el agua de riego del río Surco mediante la radiación ultravioleta.

1.4. Justificación

Son pocos los distritos que realizan tratamiento de aguas de riego porque se necesita un gran presupuesto y espacio, por ello los municipios que tienen un ingreso fiscal alto lo pueden realizar (San Isidro, Surco, Miraflores) [9].

En la salud atravesamos un contexto inédito para nuestra generación, esta gran pandemia nos hace reflexionar sobre los cuidados que debemos tener ante algunos microorganismos infecciosos y dañinos para la salud pública, la gran cantidad de carga bacteriana presente en el agua de riego de los parques y

jardines es un factor que juega en contra para la salud pública y el sistema sanitario nacional [10].

En lo tecnológico la radiación ultravioleta se presenta como una alternativa cómoda y ajustable a las condiciones del distrito, esta no genera residuos o efectos secundarios sobre el agua, es una aplicación limpia y segura que se acondiciona a las estructuras ya existentes de almacenamiento de agua que cuenta los municipios. Este aporte de tipo aplicativo es una manera de evidenciar el trabajo ingenieril que la universidad pública puede aportar a problemas básicos de la ciudadanía.

Con esta aplicación se reducirá la carga biológica que tiene el agua de riego de las áreas verdes, esto conllevará que las personas disfruten de parques y jardines sanos, que puedan entrar en contacto con ellos y no sea un peligro para su salud. Además las especies que habitan allí contarán con agua de calidad y tendrán las condiciones propicias para su crecimiento [7].

1.5. Delimitantes de la investigación

Teórico

La presente investigación está delimitada en el ámbito del tratamiento por radiación ultravioleta de las aguas del canal del río Surco cuyo uso es para riego de parques y jardines definida en los estándares de calidad ambiental para agua.

Temporal

La elaboración del trabajo de investigación fue desarrollado dentro el periodo desde junio hasta octubre del año 2022.

Espacial

En el trabajo experimental la toma de muestra se realizó en el distrito de Lince, el armado del equipo y corridas experimentales se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química mientras que las muestras tratadas colocadas en frascos fueron llevados al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB) para su análisis.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el trabajo de investigación denominado: “La eficiencia de inactivación y reactivación de las bacterias mediante la radiación ultravioleta”, las bacterias que identificaron fue *escherichia coli* y la *enterococcus sp.* que se encuentran presentes en las aguas residuales. Para ello realizaron la construcción de un reactor de luz ultravioleta de flujo continuo, las variables de diseño fueron el voltaje, caudales y tiempo de exposición para garantizar el adecuado funcionamiento y la mayor inactivación microbiana. En la parte experimental realizaron varios analisis con el fin de determinar el caudal y tiempo óptimos, posteriormente realizaron los rangos de radiación ultravioleta para cada micro::organismo encontrando que para *escherichia coli* el rango es de 9.07 mJ/s a 30.15 m J/s y para *enterococcus sp.* el rango encontrado es de 8.24 mJ/s a 16.39 mJ/s, en la búsqueda de un resultado general demostraron que el valor más adecuado de radiación es de 21.7 mJ/s y 14.34 mJ/s respectivamente. De esta manera encontraron la eficiencia del método de radiación [11].

En el trabajo de investigación: “Interference analysis of physical parameters of water in radiation UV disinfection” estudiaron la eficiencia de reducción de los parámetros microbiológicos presentes en el agua con un tratamiento de radiación ultravioleta, ello conllevó a que realicen un inóculo inicial el cual comprendía agregar estiércol de ganado de vaca al agua sin contaminantes para tener una muestra representativa con presencia de *escherichia coli*, coliformes totales y mesófilos y de esta manera aplicar la desinfección. Luego identificaron los parámetros físicos necesarios para acondicionar la dosificación de radiación. Su investigación es experimental y sus resultados determinaron la influencia de la turbiedad sobre la inactivación y el tiempo óptimo que fue de 300 segundos para alcanzar una inactivación con una dosis de 34,64 mWs/cm² para *escherichia coli*, coliformes termotolerantes y microorganismos mesófilos.

Concluyeron en que el método es apto porque no genera residuos en el agua que puedan ser perjudiciales para la salud [12].

En el trabajo de investigación denominado: “La aplicación de radiación ultravioleta como contribución a la química verde” resaltaron las bondades de la radiación ultravioleta en el tratamiento de aguas por ser una fuente alternativa a la utilización de productos peligrosos, enfocando este proceso dentro de la química verde. Además realizaron la construcción de un equipo reactor fotoquímico de bajo costo con una lampara de mercurio de 6 W, complementandolo con piezas de metal de un horno usado adaptandolo para que se una caja que contenga la lampara. El costo total del armado del equipo no supero los cien dolares, posteriormente lo utilizaron para hacer pruebas con varias muestras de alimentos concluyendo que la radiación ultravioleta da gran paso para sustituir el consumo de productos químicos [13].

En la investigación nombada: “Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamientos de aguas residuales a base de luz ultravioleta” comprobó la eficiencia de uso de la luz ultravioleta en las aguas residuales, para realizar este trabajo construyo un equipo considerando las dimensiones eléctricas, mecánicas y de caudal del proceso. La muestra de agua fue de una empresa florícola y utilizó como microorganismo determinante de contaminación a las coliformes totales, las variables utilizadas fueron cinco variaciones de caudales en un tiempo de cinco minutos, obteniendo un buen resultado con el menor caudal dando un 100% de eficiencia. Cabe resaltar que este trabajo hacen incapie en que el tratamiento por radiación ultravioleta es bueno para el medio ambiente pues no genera residuos contaminantes [14].

En el trabajo de investigación denominado: “Desinfección por luz ultravioleta” desarrolla los principios de la desinfección por radiación ultravioleta en el tratamiento de aguas, también especifica las ventajas al no generar residuos peligrosos y menciona los parametros que pueden interferir en un buen desarrollo de la radiación. La investigación es descriptiva y presenta el funcionamiento de la desinfección, los parametros de calidad de agua, la

dosificación de luz ultra violeta así como los factores de diseño para poder llevar una aplicación y que sea replicada en otros trabajos [15].

En la tesis denominada: “Desarrollo de un equipo de desinfección con luz ultravioleta” para buscar las dimensiones más adecuadas y lograr la mayor efectividad en desinfección de los microorganismos presentes en su muestra de agua. La muestra de agua fue sacada de una laguna de oxidación de un centro de investigación del agua en Venezuela, que investiga el aprovechamiento de dichas aguas para usos agrícolas. La secuencia de este trabajo fue la siguiente, caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras, el desarrollo del equipo, la determinación de microorganismos y la dosis de radiación efectiva. Su investigación es de tipo experimental y tecnológica debido a que trabajaron en la construcción de un equipo manejando las variables de área en cm^2 , intensidad de radiación entre el área de exposición mW/cm^2 y tiempo de exposición para cada microorganismo. Encontraron los resultados óptimos para tiempos de retención de 90 segundos con una lámpara de 90 W con ello obtubieron una reducción de 99.92%. Esto les permitió encontrar las dimensiones correctas del equipo que contribuyo a la mayor reducción de microorganismos con 300 cm de largo, 2.5 cm de ancho y 2 cm de profundidad [16].

En la investigación: “Principios influyentes en tratamiento de aguas por radiación ultravioleta”. Su investigación es de tipo descriptivo especificando las ventajas y desventajas del tratamiento señalando que el aporte positivo es que el tratamiento no genera residuos químicos en contra parte de que está requiere, según las características del agua, un pretratamiento para reducir los sólidos que pudieran estar presentes he interferir en la radiación y con ello no lograr la eficiencia en la desactivación de los microorganismos patógenos. Concluye recomendando que la radiación ultravioleta puede ser aplicada a otros rubros y que pueden ser potenciadas o recombinadas con ozono para mejores resultados [17].

En la tesis sobre: “La aplicación de luz ultravioleta para la desinfección de efluentes secundarios con alto contenido de patógenos” utilizó el agua de una planta de tratamiento de aguas ubicada específicamente en el tratamiento

secundario biológico, para ello consideró tres etapas en el desarrollo de su investigación, en la primera etapa caracterizó los efluentes secundarios para posteriormente realizar pruebas de desinfección con radiación ultravioleta con distintas dosis de 5 a 120 nW.s/cm² encontrando un resultado ideal de 30 nW.s/cm² para la inactivación de microorganismos la escasa presencia de partículas mayores a 40 μm que permitió que la radiación se realice sin dificultad. En la segunda etapa evaluó la capacidad de reactivación de la bacteria luego de ser aplicada la radiación ultravioleta de esta manera demostró que cuando se aplica dosis menores a los 30 nWs/cm² la bacteria se reactiva. En la tercera etapa a través de principios matemáticos evaluó la cantidad de microorganismos existentes buscando la relación con las partículas mayores de 40 μm esto gracias a los sólidos totales existentes, esto permitió que los investigadores puedan predecir de manera general la efectividad de la radiación. Finalmente, en la cuarta etapa trabajó la radiación en protozoarios encontrando que es posible la desinfección, pero las dosis de radiación deben ser muy altas. El trabajo concluyo en la eficiencia de la radiación para inactivar *Salmonella typhi*, coliformes fecales y enterococos fecales en altas concentraciones [18].

En el trabajo de investigación denominado: “Desinfección de agua” estudiaron la importancia de la radiación ultravioleta en el tratamiento de aguas por la condición que este tratamiento no produce cambios físicos y químicos considerables en el agua. Ellos indican que los parámetros adecuados para una radiación van con una longitud de onda de 240 a 280 nm siendo el rango denominado ultravioleta C, sobre la calidad del agua y los sólidos disueltos en ella señalan que es una condicionante importante, en tal sentido indica que es mejor tener un agua menor a 5 UTN (unidad nefelométrica de turbidez) de turbidez además saber el tipo de microorganismo presente, la intensidad de la radiación y el tiempo de exposición. De esta manera dan las pautas generales para el desarrollo de un buen tratamiento por radiación ultravioleta [2].

En la investigación nombrada: “Eficiencia de la luz ultravioleta para la desinfección de agua residual” desarrollaron el tratamiento de radiación ultravioleta en alternativa al cloro. Su investigación es de tipo experimental y

analizó la presencia y la reducción de los microorganismos como coliformes fecales, *Streptococos fecales* y *Salmonella typhi* analizando la resistencia al tratamiento entre ellos, además realizaron la evaluación de los sólidos suspendidos totales, la transmitancia y distribución del tamaño de partículas y cómo estos hacen efecto a la desinfección. Concluyeron que los coliformes fecales y la *Salmonella* tienen mayor captación a la luz ultravioleta y ratifica que el tamaño y la cantidad de partículas afectan el tratamiento [19].

En el trabajo de investigación denominado: “Luz ultravioleta” estudiaron y recopilaron información sobre la aplicación de radiación ultravioleta, ventajas y desventajas, costos, mecanismos de reacción y haciendo comparación con los tratamientos químicos brindando el estado del arte de la desinfección por radiación ultravioleta. Su investigación es de tipo descriptivo y analizaron los principales componentes de la desinfección por radiación ultravioleta. Su trabajo se enfocó en mostrar las mejores condiciones de desinfección según la necesidad de la calidad del agua requerida [20].

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el trabajo de investigación denominado: “Diseño y construcción de un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial” desarrollando un equipo capaz de garantizar la desinfección de agua superficial con carga microbiológica utilizando una combinación de radiación ultravioleta con ozono logrando la desinfección total de las muestras tratadas, las dosis inoculadas de radiación fue de 25 W para caudales entre 16 a 30 litros por minuto concluyendo que el bajo consumo de energía puede ser replicado con el uso de energías renovables para los lugares donde no existe servicio eléctrico [21].

En la tesis denominada: “Evaluación experimental del uso de la radiación ultravioleta en la descontaminación bacteriana de las aguas del río Chili” investigó la descontaminación bacteriana del agua del río Chili en la provincia de Arequipa por el tratamiento de radiación ultravioleta, utilizaron varias lámparas con potencias de 110 Watts, 150 Watts y un equipo modelo UVS-18 alcanzando eficiencias mayores a los 90%. El trabajo también determinó el volumen y tiempo

como un factor importante para que la eficiencia del tratamiento, de tal manera que hizo variaciones en las muestras relacionándolas con las potencias de lámparas ya determinadas. La investigación es de carácter experimental con variables que tienden a lograr valores máximos en su objetivo planteado. Los microorganismos evaluados fueron los coliformes totales y termotolerantes para este trabajo encontraron el tiempo óptimo de 6 minutos llegando con esto a una eficiencia cercana al 100% [22].

En la investigación nombrada: “Evaluación de la fotodegradación de un medio acuoso con radiación uv natural y artificial” estudió los efectos en el agua contaminada de la radiación ultravioleta natural y la radiación ultravioleta artificial, en la primera trabajó con cubetas de agua contaminada con distintas dimensiones y la segunda implemento una cámara de radiación ultravioleta con recubrimiento interior de papel metálico para mejorar la reflexión. Luego de la caracterización de la muestra de agua contaminada procedió a realizar las radiaciones comparadas en un tiempo de 25 horas encontrando que la reducción para coliformes totales se da en mayor cantidad por la radiación natural que por la radiación artificial siendo este microorganismo sensible a la luz [23].

En la tesis desarrollada: “Implementación de un prototipo de control de potencia para una lámpara de luz ultravioleta aplicado en el estudio de desinfección de aguas industriales” desarrolló en su tesis un prototipo de control de potencia para una lámpara de radiación ultravioleta que se utilizó en la desinfección del agua encontrando los niveles de potencia y radiación adecuados para inactivar la población microbiana su diseño fue experimental y longitudinal. En su investigación obtuvo potencias de 40 a 1500 vatios que generaron dosis de radiación ultravioleta de 0.026 a 40 mW/cm² encontrando que en ese rango son buenos inactivadores de microorganismos [24].

En la investigación denominada: “Desinfección del efluente secundario de la planta de agua residual de Ayacucho con radiación ultravioleta para su reutilización en riego agrícola” estudiaron la desinfección por radiación ultravioleta de los efluentes secundarios de una planta de tratamiento de agua con presencia de microorganismos patógenos, la investigación fue experimental

y demostraron la efectividad del tratamiento realizando previamente un proceso de filtración de la muestra logrando con ello que la radiación penetre a todas partes del fluido de esa manera cumplir los parámetros acordes al decreto supremo del Ministerio del Ambiente [25].

En la investigación nombrada: “Tratamiento de las aguas efluentes de la empresa Totorá ubicada en el departamento de Ayacucho” para utilizar el agua en riego agrícola, la desinfección lo realizó con dos procedimientos uno con un pretratamiento y el otro no, mostrando que el primero en mención dio mejores resultados. Su investigación es de tipo experimental con la que presentó la disminución de la carga bacteriana por radiación ultravioleta demostrando que es efectiva y el agua se pudo utilizar en el riego agrícola del lugar, también menciona que su tipo de investigación es longitudinal y analizó la desinfección y el uso del agua [8].

En el trabajo de investigación denominado: “Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana en el tratamiento de agua potable” ellos estudiaron el tiempo requerido para disminuir la carga bacteriana de la planta de tratamiento de una empresa prestadora de servicios (EPS) en el departamento de Puno. Su investigación es de tipo experimental y presenta el tiempo necesario para que el tratamiento por radiación ultravioleta sea el adecuado. Su tipo de investigación es longitudinal y analizaron la inactivación total de microorganismos haciendo mención importante el uso de la radiación ultravioleta en reemplazo de uso de cloro [7].

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad de agua

La relación de la calidad de agua con la salud es evidente y es una prioridad sanitaria desde siempre, incluso a nivel programático desde Alma Ata que fue el evento de política de salud internacional más importante de la década de los setenta, cuyo lema fue «Salud para todos en el año 2000». La síntesis de sus intenciones se expresó en la declaración de Alma Ata, subrayando la importancia

de la atención primaria de salud como estrategia para alcanzar un mejor nivel de salud de los pueblos, priorizándose el desarrollo de una adecuada fuente de agua potable y de salubridad básica. Además de la relación de la calidad del agua y la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) encuentra, también, relación directa entre la calidad del agua y la pobreza [8].

2.2.2. Agua contaminada del río Surco

El canal del río Surco actualmente está siendo agredida por la población circundante a esta infraestructura debido a que ignoran la importancia social y ambiental que beneficia este río a nuestra ciudad, debido a la contaminación que aumentaba en estas aguas la Comisión de Regantes de Surco impulsaron la importancia de recubrir esta infraestructura [26].

Como consecuencia de esta problemática ambiental, los distritos de San Borja y Santiago de Surco cuentan con plantas de tratamiento a través de métodos convencionales que ayudan a la reducción de los altos niveles de contaminación microbiológica y parasitológica para su uso en el riego de las áreas verdes de los respectivos distritos [9].

2.2.3. Normativas y leyes ambientales sobre la calidad del agua de riego

Ley N° 29338. La ley de recursos hídricos exige a los gobiernos locales y a los usuarios de agua cumplir con las normativas ambientales y el incumplimiento de estas son causales de infracciones.

En el capítulo IV: "*Funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales*" artículo 25 señala el ejercicio de las funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales indicando que los gobiernos regionales y gobiernos locales, a través de sus instancias correspondientes, intervienen en la elaboración de los planes de gestión de recursos hídricos de las cuencas. Participan en los consejos de cuenca y desarrollan acciones de control y vigilancia, en coordinación con la Autoridad Nacional del Agua, para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos. La cuenca a la cual pertenece el río Surco es la cuenca del río

Rímac esta a su vez pertenece al Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Interregional Chillón Rímac Lurín creada por decreto supremo DS N°007-2016-MINAGRI que pertenecen al ámbito de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) Cañete-Fortaleza y abarca la integridad de la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín y la unidad hidrográfica Chilca.

En el capítulo II sobre *licencia de uso de agua* en el artículo 50 numeral 4 señala: Atribuye al titular la potestad de efectuar directamente o en coparticipación, según el caso, inversiones en tratamiento, transformación y reutilización para el uso otorgado, el distrito de Lince cuenta con una licencia de uso mediante resolución administrativa N°359-2006-AG-SGAM/ATDR.CHARL para fines agrarios cualquier otro uso está prohibido. Pero no cuenta hasta la fecha con tratamiento, transformación ni reutilización del agua otorgada [27]

En el artículo 57 *obligaciones de los titulares de licencia de uso* señala “Los titulares de licencia de uso tienen las siguientes obligaciones:

- a. Utilizar el agua con la mayor eficiencia técnica y económica, en la cantidad, lugar y para el uso otorgado, garantizando el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, y evitando su contaminación.
- b. Cumplir oportunamente con el pago de la retribución económica por el uso del agua y las tarifas, cuando corresponda.
- c. Mantener en buenas condiciones la infraestructura necesaria para el uso del agua que le fue otorgada en los términos y condiciones que establece la Ley y el Reglamento, sin afectar a terceros, al desarrollo hidráulico, a las fuentes de agua, ni a la cuenca.
- d. Permitir las inspecciones que realice o disponga la Autoridad Nacional en cumplimiento de sus funciones.
- e. Instalar los dispositivos de control y medición de agua, conservándolos y manteniéndolos en buen estado.

- f. Dar aviso oportuno a la Autoridad Nacional cuando, por causa justificada, no utilice transitoria, parcial o totalmente las aguas; situación que no acarrea la pérdida del derecho otorgado.
- g. Contribuir a la conservación, mantenimiento y desarrollo de la cuenca.
- h. Participar en las organizaciones de usuarios de agua correspondientes.
- i. Las demás previstas en la Ley.

En el título XII las infracciones y sanciones, artículo 120 *“Infracciones en materia de agua”* señala que constituye infracción en materia de agua toda acción u omisión tipificada en la presente Ley. El reglamento establece el procedimiento para hacer efectivas las sanciones. Constituyen infracciones las siguientes:

- a. Utilizar el agua sin el correspondiente derecho de uso.
- b. El incumplimiento de alguna de las obligaciones establecidas en el artículo 57 de la Ley.
- c. La ejecución o modificación de obras hidráulicas sin autorización de la Autoridad Nacional.
- d. Afectar o impedir el ejercicio de un derecho de uso de agua.
- e. Dañar u obstruir los cauces o cuerpos de agua y los correspondientes bienes asociados.
- f. Ocupar o desviar los cauces de agua sin la autorización correspondiente.
- g. Impedir las inspecciones, actividades de vigilancia y supervisión que realice la autoridad de agua competente directamente o a través de terceros.
- h. Contaminar el agua transgrediendo los parámetros de calidad ambiental vigentes.
- i. Realizar vertimientos sin autorización.
- j. Arrojar residuos sólidos en cauces o cuerpos de agua naturales o artificiales.

- k. Contaminar el agua subterránea por infiltración de elementos o sustancias en los suelos.
- l. Dañar obras de infraestructura pública
- m. Contravenir cualquiera de las disposiciones previstas en la Ley o en el Reglamento.

Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Que aprueba los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias, en ella señala los parámetros adecuados para el tipo de uso del agua que se utiliza según el rubro, para el presente trabajo se desarrolla en base al ECA-agua categoría 3 que es el riego de vegetales y bebida de animales, esta tiene una descripción (c) en la cual indica que, para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido (Ver figura 1, pág. 30) [1].

2.2.4. Tratamiento de aguas

Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo fisicoquímico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas. El fin es que estas operaciones deben obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final. Existen diversos métodos de tratamiento de agua entre ellos los físicos, químicos y biológicos en este trabajo se desarrolla uno de ellos en la que utiliza la radiación ultravioleta para tratar el agua cargada de componentes biológicos [8].

Radiación ultravioleta. La radiación ultravioleta (RUV) o luz ultravioleta de forma natural es emitida por el sol, forma parte del espectro electromagnético, está conformado por la luz UV de vacío, UV-C, UV-B y UV-A, siendo el más importante para este trabajo de investigación el UV-C con una longitud de 200nm a 280nm, en base a referencias bibliográficas la efectividad sobre la destrucción o eliminación de

microorganismos se da a una longitud de 254nm [21]. Una de sus aplicaciones rescatable es la inactivación de microorganismos a una longitud de onda ultravioleta tipo C de 254 nanómetros siendo su objetivo principal dañar la estructura genética de los microorganismos existentes en el agua contaminada, tiene una importante ventaja a comparación de la cloración debido a que no deja subproductos químicos después de su procedo de desinfección [28].

Figura 1

Decreto Supremo N°004-2017-MINAM

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales				
Parámetro	Unidad	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	2000	1000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	1000	**	**
Huevos de Helminto	Huevo/L	1	1	**
(c): Para riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido. Nota: -El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría				

Elección del sistema ultravioleta. La elección de un sistema ultravioleta se da en función del agua a tratar para esta investigación se utilizó una lampara de radiación artificial con la finalidad de reducir al máximo los componentes biológicos presentes en el agua del río Surco. Este consta de un tubo de cuarzo que contiene vapor de mercurio.

Tratamiento con radiación ultravioleta. De muchos sistemas de tratamiento convencionales de desinfección que existen para aguas contaminadas, denominados sistemas convencionales (químico, cloración y ozono) donde sus características, ventajas y desventajas son

muy conocidas (generación de subproductos químicos) destacamos la utilización de la luz ultravioleta artificial por su gran efectividad sobre los microorganismos sin generar subproductos de desinfección problemáticos y por su bajo costo de operación y mantenimiento [5]. En la radiación se aplica una dosis adecuada para la eliminación de agentes biológicos, la dosis ultravioleta se interpreta matemáticamente como la multiplicación de la intensidad de radiación en unidades mW/cm^2 y el tiempo (s) en el equipo de exposición de la radiación estos dos parámetros son importantes para determinar la radiación ultravioleta que requiere el microorganismo y para la aplicación de la dosis es importante la caracterización del agua, de ella depende que la radiación penetre de tal manera que pueda destruir el ADN de los microorganismos [11]. Mediante la utilización de la radiación ultravioleta artificial como tratamiento para la muestra de agua contaminada se logra la reducción de los parámetros microbiológicos y parasitológicos [23], puesto que con esta técnica de foto inactivación se logra dañar los ácidos nucleicos del microorganismo impidiendo que estos vuelvan a reproducirse [29].

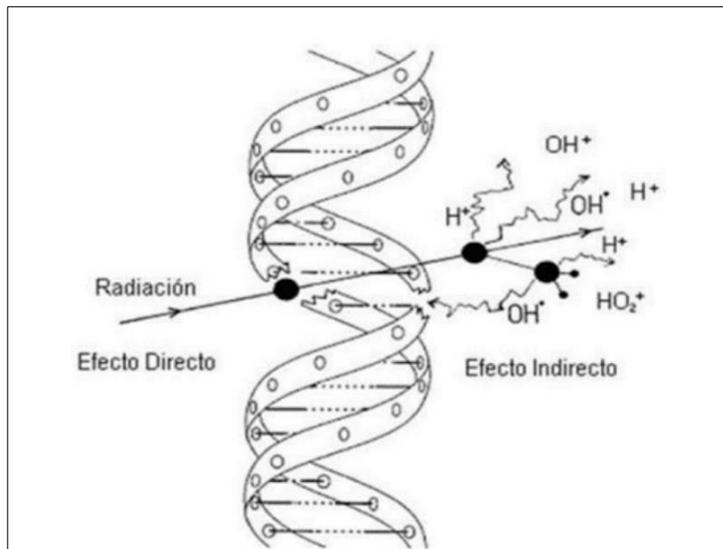
Influencia de los sedimentos en la radiación ultravioleta. Los sedimentos que forman parte de las aguas que circulan en los ríos son abundantes, esto interfiere en los tratamientos por ello es muy usual colocar filtros de sedimentos antes de iniciar un proceso. En la utilización de radiación ultravioleta los sedimentos interfieren en la penetración de la luz y esto hace menos efectivo la inhabilitación de los microorganismos en los cuerpos de agua a tratar, por ello el filtrar el agua antes de tratarla es fundamental [18].

Reducción de la concentración de los parámetros microbiológicos y parasitológicos. Los parámetros microbiológicos y parasitológicos son destruidos cuando sus ácidos nucleicos sufren daño a causa de la luz. La capacidad de la luz ultravioleta para ionizar las moléculas del material genético (Ver figura 2, pág. 32) genera cambios fisicoquímicos en las bacterias y parásitos presentes en el agua, después de una exposición de

luz ultravioleta los daños hacia el ADN de los microorganismos se dan de manera directa rompiendo los puentes de hidrogeno y expulsando electrones, e indirecta porque sus radicales libres pueden ocasionar ionización con otras moléculas. por lo que su acción es muy eficiente como desinfectante para la destrucción y reducción [30]. La reducción se obtiene a través del mecanismo de incidencia de la radiación sobre el material genético de las células, estas son absorbidas por las purina y pirimidinas sufriendo cambios químicos en su estructura efectuándose la formación de moléculas dobles o dímeros e hidratos [31]. La dimerización de timina, citosinas o uracilo, una gran cantidad de estas en el ADN y ARN bloquean la ampliación de cadenas de hijas inhibiendo la replicación de las células microbianas y como consecuencia su reproducción (Ver figura 2) [32].

Figura 2

Efectos de la radiación UV en la cadena genética ADN



Fuente: Influencia del gen xthA [30]

La radiación ultravioleta promueve la creación de dímeros al momento de su absorción de la luz, la formación de estos dímeros impide la replicación del ADN y ARN de los microorganismos interrumpiendo su reproducción [30].

2.3. Marco conceptual

En el presente trabajo se investigó y analizó el tratamiento por radiación ultravioleta de las aguas de riego del río Surco en base a ello se dio las condiciones adecuadas para la desinfección del agua. El tratamiento consiste en reducir la carga biológica llegando a cumplir los estándares de calidad ambiental para agua (ECA - Agua) categoría 3 inciso D1- agua para riego no restringido exigido por el Ministerio del Ambiente.

Para que el proceso asegure un buen tratamiento, primero se caracteriza la muestra inicial definiendo sus propiedades físicas y biológicas, se determina las condiciones óptimas necesaria para la lámpara de radiación ultravioleta.

Para que el equipo experimental asegure un buen tratamiento, primero se analiza el estado de contaminación del agua de riego, luego se hace el tratamiento con las condiciones fijadas para dicha muestra. Luego del tratamiento se compara el antes y después de la muestra debiendo llegar a estándares adecuados para el riego evitando con esto la contaminación en la salud pública. Las variables del tratamiento son nuestro valor importante pues son esas condiciones las que permiten la mejor desinfección sin presencia de residuos peligrosos pudiendo ser utilizada el agua de riego de manera segura, considerando que el tratamiento por radiación ultravioleta es fácilmente replicable porque se puede implementar en diferentes lugares por el poco espacio que ocupa y es nuestra propuesta. Finalmente se ha evaluado el impacto de las variables en este tratamiento de tal manera que sea un aporte tecnológico y económicamente rentable. Además, su aplicación favorece a la salud pública pues las personas se disponen en ambientes abiertos con presencia de áreas verdes.

2.3.1. El uso del agua en riego

La utilización de agua para riego es sin duda el mayor consumidor a nivel mundial porque juega un papel muy importante para el uso en la agricultura y de embellecimiento de las zonas urbanas. En zonas urbanas existe una gran demanda hídrica para riego, el uso de este recurso sobre sale por su alto

consumo en la utilización para áreas verdes, en España a través de un estudio sobre la eficiencia en el uso del agua en sistemas de riego de parques urbanos estiman que para el año 2050 existirá una disminución sobre la disponibilidad del agua apta y no contaminada esto debido al crecimiento de la urbanización y a los cambios climáticos por lo que la población estará sometida a restricciones hídricas [33].

La Universidad Autónoma de Barcelona realizó un estudio sobre la crisis hídrica en zonas agrícolas y urbanas en nuestro país en el departamento de Arequipa, menciona que ante el crecimiento de la población, el aumento de áreas de cultivo en zonas fértiles como en zonas áridas, las técnicas de regadío tradicional (técnica que no permite controlar y distribuir de manera eficiente el uso de este recurso) y el cambio climático exige mayor consumo de agua condicionándonos a un escenario de déficit hídrico. Es necesario e importante controlar y gestionar la disponibilidad y distribución de este recurso que con el pasar de los años va disminuyendo [34].

Lima metropolitana fue considerada como una ciudad desierta la población fue aumentando de la mano con su urbanización y junto a ella en la actualidad asciende la problemática sobre la disponibilidad del agua. El riego de áreas verdes se efectúa mediante tres técnicas por lo que mencionamos al riego por canal de regadío (riego tecnificado en parques y jardines públicos), el riego utilizando los camiones cisterna y el riego por el uso del agua potable [9].

El agua de riego del río Surco tiene su fundamento en las autorizaciones de uso del recurso hídrico otorgados por la Comisión de Usuarios de agua, en este caso la Comisión de Usuarios del río Surco – Huatica son los encargados de velar por la distribución del agua y el pago por el uso de éste, la autorización se da sólo para uso agrícola por lo que no puede ser utilizado para otro fin, en tal sentido las características de calidad de agua van enfocadas a la agricultura [35].

2.3.2. Agua del río Surco

El agua del río Surco proviene de la vertiente del río Rímac ésta nace en el distrito de Ate a la altura de la bocatoma y desemboca en la playa Chira del distrito de Chorrillos, al salir del río Rímac toma el nombre de río Surco y está destinado al riego de parques y jardines de 17 municipios de Lima Metropolitana, cabe mencionar que el canal del río Surco fue desarrollada por las culturas prehispánicas de Lima y algunos tramos del recorrido forman parte del patrimonio cultural y son intangibles según el Ministerio de Cultura [9].

El río Surco o canal de río Surco abastece a 17 distritos de Lima entre ellos Lince que utiliza el agua para el riego de las áreas verdes. La Comisión de Usuarios de Surco es la encargada de distribuir los horarios y la dotación de agua para los distintos distritos. Los horarios para el distrito de Lince son los miércoles de 6:00 a 15:00 horas con un volumen regular en verano de 800 L/s, como lo indica la figura 3.

Figura 3

Horario de uso de agua del río Surco por los usuarios del río Surco



Fuente: Fan page de la Comisión de Usuarios de Surco-Huatica, 2021

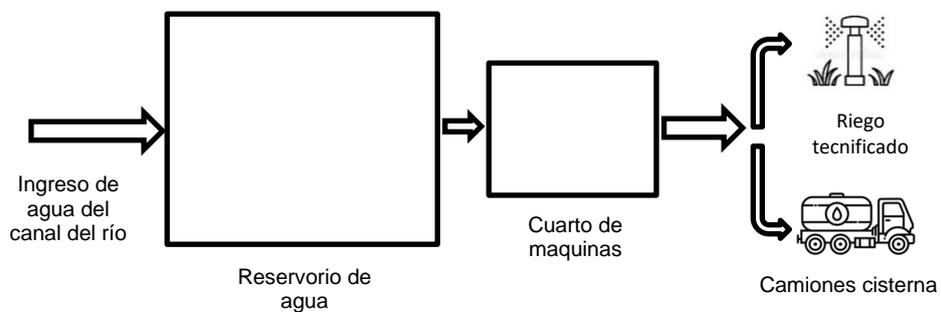
Contaminación del agua del río Surco. Al ser proveniente del río Rímac muestra las mismas características del agua ha esto se suma que en el

recorrido del río Surco se ha evidenciado conexiones clandestinas de botaderos de desechos y otros los cuales incrementa la contaminación existente, en los monitoreos realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) los cuales se reportan cuadros con parámetros altos de contaminación [36].

Caracterización del agua del río Surco en el distrito de Lince. La caracterización del agua del río Surco se realizan en función de las actividades de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua estas se dan en procesos participativos los cuales están dirigidos al río Rímac, se tienen reportes del 2010. Para el presente trabajo por el tipo de agua se consideraron principalmente sólidos suspendidos totales, turbidez y parámetros biológicos (huevos de helminto, *escherichia coli* y coliformes termotolerantes) [36] debido a la distribución del agua en el distrito (Ver figura4).

Figura 4

Sistema de riego del distrito de Lince



Nota: Agua del río Surco llega únicamente los miércoles de 6:00 horas hasta las 15:00 horas por ello los reservorios son de gran ayuda para poder distribuir el agua los demás días

Parámetros microbiológicos y parasitológicos. Son un grupo de organismos unicelulares heterogéneos que está constituido por las bacterias, los protozoos, algas y hongos, las bacterias son seres vivos que están presentes en el tracto digestivo de animales y humanos que, al ser defecadas cerca de ríos, pozos, lagos contribuyen a la

contaminación del agua. En tiempos húmedos y de calor la presencia de estos patógenos aumenta y son causantes de enfermedades a la población [37]. Son microorganismos capaces de producir enfermedades, indicadores de contaminación expresados en número más probable (NMP) por 100 mililitros de solución, están presentes en el agua de río Surco en cantidades que superan los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3 agua de riego no restringido, su reducción es materia de estudio en el presente trabajo, los parámetros microbiológicos están comprendidas por los coliformes fecales o termotolerantes y *escherichia coli* y los parámetros bacteriológicos están comprendidos los huevos de helmintos [38].

Concentración de los sólidos totales suspendidos. Es la cantidad de materia orgánica y sales inorgánicas de origen animal y vegetal disueltas en un medio acuoso y están asociados al grado de turbidez. Los SST son parámetros considerados en la mayoría de los tratamientos de agua, estas determinan su calidad [38]. Por su tamaño actúan como escudo protector de microorganismos y sustancias tóxicas por lo que contribuyen a un problema al momento de utilizar cualquier desinfectante reduciendo así su efectividad, la disminución de este tipo de componentes en el agua se puede dar mediante los diversos mecanismos de separación [3]. La inactivación de los agentes biológicos se da por medio de la absorción, refracción o reflexión de la luz hacia estos patógenos los cuales podrían ser obstaculizadas cuando hay presencia de sólidos suspendidos [18].

Turbidez. Es el grado de reducción de transparencia por la existencia de pequeñas partículas en suspensión en el agua, es un indicativo de compuestos tóxicos y microbiológicos también es considerada como una buena medida de la calidad del agua. Es la causante de la desviación de los rayos de luz ya que el alto grado de turbidez en el agua dificulta que la luz ingrese y cumpla su función de inactivación. Para lograr una mejor desinfección es necesario reducir al máximo la turbidez [28].

2.3.3. Cumplimiento de los ECA-agua para riego en los municipios

Generalmente el cumplimiento de los ECA-agua de los municipios los realizan aquellos que tiene presupuestos altos y pueden realizar los gastos que esto implica los municipios como Surco, La Molina y Surquillo realizan tratamiento a las aguas de riego, ellos cuentan con grandes plantas de tratamiento debido a que son distritos grandes y con recursos ingentes. Por ello en el cumplimiento de los ECA-aguas están conformes [9].

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Lámpara ultravioleta

Es un fotorreactor de vidrio, tubo hecho de cuarzo y sílice, que contiene mercurio que se mantiene en condiciones de agitación constante (excitación de electrones) utilizada como fuente de radiación ultravioleta, que se utiliza en procesos de degradación foto catalítica [39].

2.4.2. Espectro electromagnético

Es un conjunto de ondas electromagnéticas que abarcan las regiones de ondas de baja y radiofrecuencia, microondas, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos, se manifiestan como energía que se extienden de menor a mayor longitud de onda, a través de la frecuencia y longitud de onda podemos hacer referencia al espectro electromagnético [6].

2.4.3. Intensidad de la lámpara ultravioleta

Es la cantidad de energía emitida por la luz ultravioleta por unidad de área se expresa como Watts por centímetro cuadrado, al ingresar a través del núcleo de la célula tiene un alto poder germicida inactivándolo y evitando su reproducción. Uno de los parámetros más importantes es la potencia de emisión y junto al tiempo se obtiene la dosis ultravioleta correcta para la reducción de los microorganismos [40].

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

Mediante el tratamiento de radiación ultravioleta se podrá reducir un porcentaje mayor del 90% los contaminantes de las aguas de riego del río Surco.

Hipótesis específica

- ✓ Al definir las características biológicas del agua de riego del río Surco los resultados obtenidos muestran valores altos para los estándares de calidad ambiental de agua de riego.
- ✓ Los parámetros adecuados para la reducción de la carga biológica son el caudal y los sólidos suspendidos totales presentes en el agua de riego del río Surco.

Definiciones conceptuales de las variables:

Las variables fueron definidas como: $Y = f(X)$

Variable dependiente:

Y: Reducción de los contaminantes biológicos de las aguas de riego del río Surco

Variable independiente:

X1: Parámetros del tratamiento mediante radiación ultravioleta

3.1.1. Operacionalización de variables

(Ver tabla 1, pág. 40)

Tabla 1

Definición operacional de las variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE VARIABLES	INDICADORES	DIMENSIONES	MÉTODO Y TECNICA
Y = Reducción de los contaminantes de las aguas de riego del río Surco.	Es la disminución de la carga biológica por medio de la aplicación de la radiación ultravioleta.	Concentración microbiológica Concentración parasitológica	NMP/100mL N° org/L	Analítico Experimental
VARIABLE INDEPENDIENTE				
X1 = Parámetros del tratamiento mediante radiación ultravioleta.	Los parámetros adecuados para la reducción de la carga biológica son el caudal y los sólidos suspendidos totales presentes en el agua de riego del río Surco.	Caudal Sólidos suspendidos totales	L/min mg/L	Analítico Experimental

Nota: *NMP: Número más probables/100mL y **N° org/L: Número de organismos/L

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

4.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental, cuantitativo y aplicativo porque persigue la manera de llegar a resultados adecuados en la reducción de la carga biológica existentes en las aguas del riego del río Surco. Utilizando los conocimientos científicos de la fisicoquímica y la microbiología determinamos las concentraciones de los contaminantes patógenos y su reducción por medio de la utilización de la radiación ultravioleta.

4.1.2. Diseño de investigación

La presente investigación es aplicada y experimental en la que se buscó relacionar las variables a través de un proceso sistemático y controlado como se muestra en la figura 5 donde se consideran las variables de entrada, a los filtros y caudales, y su efecto sobre el porcentaje de reducción al pasar por la radiación ultravioleta (Ver figura 6, pág. 42).

Figura 5

Variables para manipular antes de ingresar a la radiación

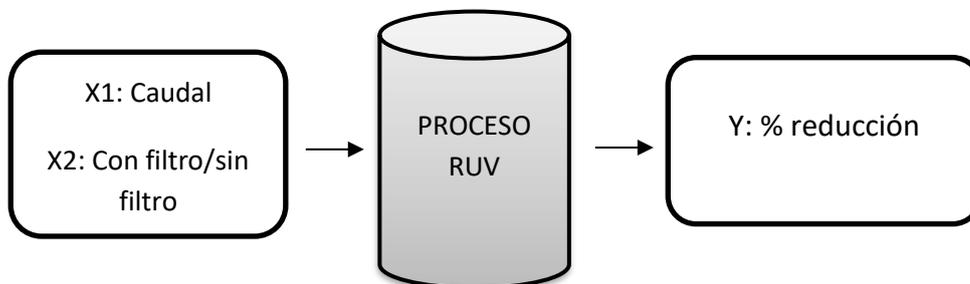
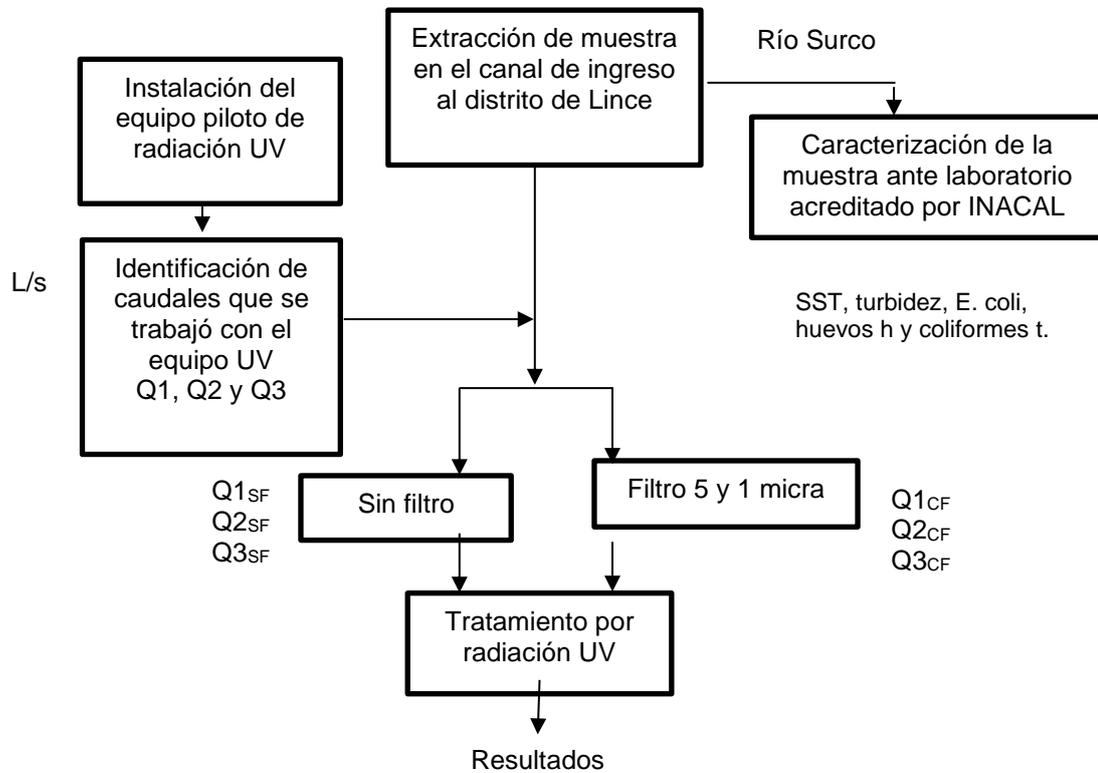


Figura 6

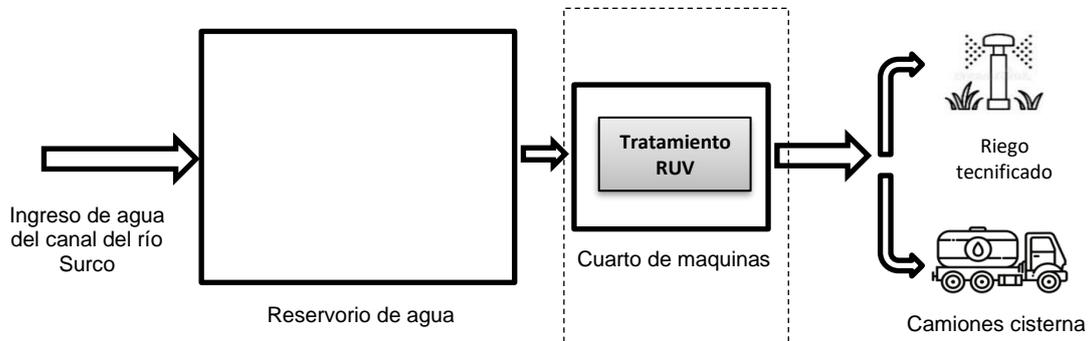
Proceso de tratamiento con radiación ultravioleta



La propuesta en esta investigación es que el tratamiento por radiación ultravioleta (RUV) de agua de riego del distrito sea incorporado en la distribución del agua, exactamente en los cuartos de máquina que es un lugar donde se acoplan las tuberías, electrobomba, válvulas, mangueras, componentes eléctricos y otros donde el personal tiene acceso para el respectivo mantenimiento. Según la figura 7 (Pág. 43) el equipo de tratamiento estaría incorporado en las tuberías de salida para el riego tecnificado y para el llenado en los camiones cisterna de agua, de tal manera se acomodaría al caudal que maneja cada estación de reservorio. En tal sentido el equipo piloto de radiación ultravioleta que se arma en esta investigación simula esta propuesta.

Figura 7

Propuesta de ubicación del tratamiento RUV



4.2. Método de investigación

En el presente trabajo de investigación se aplicó el método científico conformado por seis etapas para la investigación y se utilizó el método observacional y experimental.

Primera etapa

Determinación de las variables de diseño, las siguientes variables son necesarias en el control del experimento, se detallan a continuación en la tabla 2.

Tabla 2

Variables de diseño de la parte metodológica

Variables de diseño independientes	Definición	Unidades
Turbidez	Grado de transparencia del liquido	NTU
Sólidos suspendidos totales	Partículas suspendidas en el agua	mg/L
Caudal	Litros por minuto	L/min
Variable de diseño dependiente	Definición	Unidades
Reducción	Diferencia porcentual de la carga biológica antes y después del tratamiento	%

Segunda etapa

Modelar el diseño factorial, de acuerdo con las variables metodológicas antes mencionadas procederemos a calcular el número de corridas experimentales de la siguiente manera:

$$\# \text{ de corridas: } 3 \times 2 = 6$$

Número total de experimentos: 6 corridas x 2 repeticiones = 12 experimentos

Donde “3” es el número de niveles de caudal y “2” representa la presencia o ausencia de filtro. Para ello se colocan el resumen en la tabla 3 donde se aprecia el diseño factorial.

Tabla 3

Diseño factorial: factores y niveles

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

Y en la tabla 4 (Pág. 45) se detallan las corridas experimentales que se desarrollaron en la presente investigación

Tercera etapa

Armado del equipo de tratamiento de radiación ultravioleta, en el prototipo se consideraron dos direcciones del agua, una haciéndola pasar por el filtro y otro camino desviándola del filtro ambas direcciones se encontraron en un solo punto, a la entrada de la lampara de radiación ultravioleta.

Cuarta etapa

Identificación del punto de muestreo, en búsqueda del punto representativo de muestreo se seleccionaron dos puntos (Ver figura 8, pág. 45) para la caracterización del agua del río Surco los cuales fueron el reservorio ubicado en el parque Ramón Castilla a la altura del Jr. Almirante Martin Guisse cuadra 23 (Ver figura 9, pág. 46) y el canal de ingreso de agua del río Surco al distrito de

Lince ubicado en la Av. Paseo de la República cuadra 26 (Ver figura 10, pág. 46).

Tabla 4

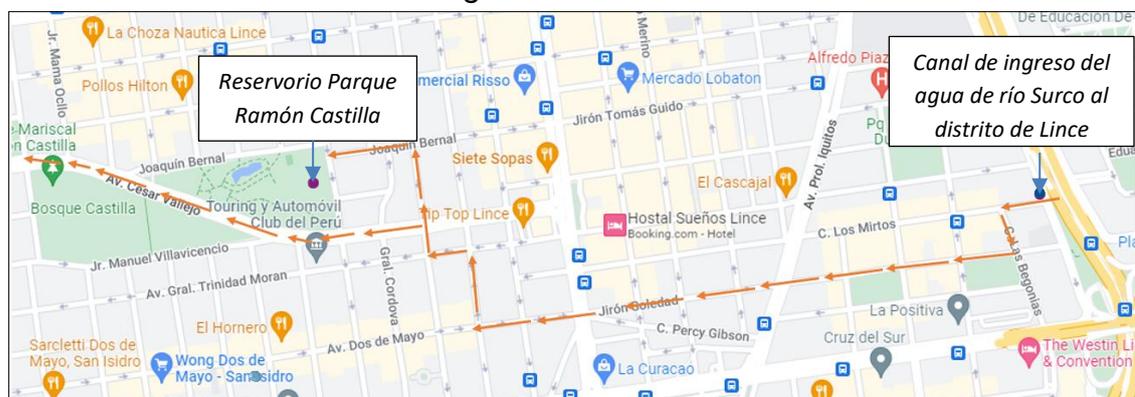
Número de corridas experimentales

Corridas	Caudal (L/min)	Filtro
1	1.8	CF
2	1.8	SF
3	2.6	CF
4	2.6	SF
5	4	CF
6	4	SF
7	1.8	CF
8	1.8	SF
9	2.6	CF
10	2.6	SF
11	4	CF
12	4	SF

NOTA: Donde CF: con filtro y SF: sin filtro

Figura 8

Ruta de canal subterráneo del agua de río Surco en Lince



Fuente: Google mapa 2021

Figura 9

Reservorio de agua del parque Ramón Castilla



Figura 10

Canal de ingreso del agua de río Surco al distrito de Lince en la Av. Paseo de la República cdra. 26



Quinta etapa

Toma de muestra para la caracterización, consistió en llevar al laboratorio ALAB la muestra de agua de los dos puntos seleccionados para los análisis fisicoquímicos y biológicos.

Sexta etapa

Toma de muestra para las corridas experimentales, una vez seleccionado el punto de muestreo se procede a tomar muestras de agua para hacer el tratamiento con radiación ultravioleta de esta manera reducir la carga biológica presente, luego de este proceso el agua tratada es enviada al laboratorio ALAB para que verifique los resultados obtenidos después del tratamiento.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

El agua del río Surco que ingresa al distrito de Lince

4.3.2. Muestra

La muestra utilizada se dividió en 5 litros de agua para el análisis de huevos de helmintos, 500 ml para análisis de *escherichia coli* y coliforme termotolerantes, 250 ml para turbidez, 1 litro para los sólidos suspendidos totales y 50 litros para ser utilizadas en el tratamiento por radiación ultravioleta con el equipo armado desarrollado en la presente investigación.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

En el trabajo experimental la toma de muestra se realizó en el distrito de Lince, el armado del equipo y corridas experimentales se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química mientras que las muestras tratadas colocadas en frascos fueron llevados al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB) para su análisis.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas para la recolección y transporte de muestras de agua del río Surco

Las técnicas para recolección de información siguen los procedimientos planificados en la parte metodológica.

Identificación del punto de muestreo representativo para nuestra población. El primer punto de muestreo se eligió debido al sistema de distribución que se tiene en el distrito de Lince (Ver figura 4, pág. 36) por lo que se consideró al reservorio del distrito de Lince ubicado en Jr. Almirante Martín Guisse cuadra 23 en el parque Ramón Castilla, reservorio de 150 m³. En el tiempo que se realizó el muestreo coincidió con la temporada de limpieza y mantenimiento del canal del río Surco que lo realizan una vez al año para hacer frente a la época de estiaje, por ello el agua en el reservorio estaba almacenada durante cinco días (según el cronograma de turnos de distribución de agua del río Surco). Esta limpieza se da en temporada de invierno en la que cierran la compuerta principal del río (bocatoma que da inicio al río Surco ubicado en el distrito de Ate Vitarte) y todos los municipios que utilizan el agua deben mantener llenos sus reservorios para aguantar la temporada de desabastecimiento.

La toma de muestra fue realizada en la superficie del reservorio (De 150 m³) sin agitar (Ver figura 28, pág. 84). Se llenaron los recipientes entregados por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. (ALAB) laboratorio acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y fueron colocados en un cooler junto a gel pack para conservar la muestra, estos envases constan de cinco botellas de 1 litro para huevos de helmintos, una botella de 500ml para coliformes termotolerantes y *escherichia coli*, una botella oscura de 250 ml para la medición de la turbidez y una última botella de 1 litro para los sólidos suspendidos totales (Ver figura 11, pág. 49) haciendo un total de 6.75 litros de agua para la caracterización. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio ALAB, para los ensayos indicados en la tabla 7 (Pág. 52).

Figura 11

Recipientes para la recolección de la muestra en el reservorio - Parque Ramón Castilla



El segundo punto de muestreo fue seleccionado por ser distribuidor del agua a los siete reservorios y como riego directo a los parques por el mecanismo de riego por inundación o gravedad, este punto está ubicado en el canal de ingreso del agua del río Surco al distrito de Lince en la Av. Paseo de la República cuadra 26.

La toma de muestra se dio con los recipientes proporcionado por el laboratorio ALAB (Ver figura 12, pág. 50).

Figura 12

Recipientes para toma de muestra en el canal de ingreso del agua del río Surco al distrito de Lince



Las muestras de agua del río Surco se tomaron a temperatura ambiente en el ingreso del distrito encontrándose el agua con dientes de ajo, hierbas y otros (desechos de mercado) que se separaron para tener la muestra de agua sola. Se llenaron los recipientes proporcionados por el laboratorio ALAB y fueron colocados en un cooler junto a gel pack para conservar la muestra, estos envases constan de cinco botellas de 1 litro para huevos de helmintos, una botella de 500ml para coliformes termotolerantes y *escherichia coli*, una botella oscura de 250 ml para la medición de la turbidez y una última botella de 1 litro para los sólidos totales suspendidos, haciendo un total de 6.75 litros de agua para la caracterización y estas fueron llevadas al laboratorio ALAB para los ensayos indicados en la tabla 7 (Pág. 52).

Métodos utilizados para la caracterización del agua. La caracterización del agua se definió mediante los parámetros indicados en la tabla 5, conociendo nuestro parámetro de estudio según los ECA – agua categoría 3 – agua de riego no restringido (Ver tabla 6).

Tabla 5

Características de las muestras a medir en la toma de agua

Caracterización	Definición	Unidades
Turbidez	Grado de transparencia del líquido	NTU
Sólidos suspendidos totales	Partículas suspendidas en el agua	mg/L
<i>Escherichia coli</i>	Microorganismo presente en el agua	NMP/100ml
Coliformes termotolerantes	Microorganismo presente en el agua	NMP/100ml
Huevos de helmintos	Parásitos presentes en el agua	N° org/L

Nota: *NMP: número más probables/100mL, **N° org/L: Número de organismos/L

Tabla 6

Estándares de calidad ambiental del agua para riego según el DS N° 004-2017 MINAM

Análisis	Unidad	ECA – Riego de Vegetales: Agua para riego no restringido
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL*	<1000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	<1000
Huevos Helmintos	N° org/L**	<1

Nota: *NMP: número más probables/100mL, **N° org/L: Número de organismos/L

Los métodos usados para la caracterización del agua fueron los asignados por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB), métodos acreditados por INACAL los cuales se indican en la tabla 7 (Pág. 52).

Tabla 7*Métodos de ensayo*

Tipo de ensayo	Método
Determinación de la turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd ED. Turbidity. Nephelometric Method.
Determinación de sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017. Solids Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C
Determinación de <i>Escherichia Coli</i> (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2,23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. <i>Escherichia coli</i> Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E. coli.
Determinación de Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2,23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. <i>Escherichia coli</i> Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E. coli.
Determinación de huevos de helmintos	MVAL-LAB-24, Validado, 2018 Cuantificación e Identificación de Huevos de Helmintos en Agua

Fuente: Laboratorio ALAB

Tratamiento por radiación ultravioleta variables involucradas y corridas experimentales. Para la toma de muestras para las corridas experimentales se consideraron como punto representativo de muestreo el canal de ingreso del río Surco al distrito de Lince ubicado en la Av. Paseo de la República cuadra 26.

En esta etapa se definen los valores de las variables a trabajar en el tratamiento, los valores de los caudales se registran en litros por minuto (L/min) de 1.8, 2.6 y 4 como indica la tabla 3 (Pág. 44) de acuerdo con la calibración de cada caudal se fue direccionando el agua conduciéndolas en dos rutas distintas una pasando por los filtros y otra desviándolas de los filtros.

Los caudales se establecen porque las referencias bibliográficas nos mencionan que ante menor caudal el agua está más tiempo retenida en el equipo de radiación permitiendo mejores condiciones para la irradiación ultravioleta.

Los filtros, según referencias bibliográficas cumplen la función de retener partículas, la presencia de estas desvía el haz de luz ultravioleta causando interferencias y dificultando la desinfección, además de que éstas sirven de camuflaje para los contaminantes biológicos por ello demostraremos si la presencia de los filtros es predominante para la calidad de agua de riego del río Surco.

Una vez establecido el procedimiento para el tratamiento y habiendo identificado el punto representativo de agua se extraen muestras en recipientes tipo baldes o cilindros (Ver figura 13).

Figura 13

Llenado de envases con agua del río para pruebas en el equipo de tratamiento RUV



Para realizar las corridas experimentales planificadas nos apoyamos en un diseño factorial que nos muestra el número de experimentos y la combinación de variables generado por el software Minitab19 con ello se

establece la tabla de factores y niveles considerados. De tal manera desarrollamos nuestra matriz de experimentación como se observa en la tabla 4 (Pág. 45). Luego del tratamiento por radiación ultravioleta se llevan las 12 corridas experimentales al laboratorio ALAB para su evaluación y resultado (Ver anexo registro fotográfico de la actividad experimental figuras 35 al 41, pág. 89).

4.5.2. Instrumentos para la recolección de datos

Construcción del equipo piloto para el tratamiento mediante radiación ultravioleta (RUV). El instrumento utilizado para la recolección de nuestros datos fue el equipo piloto de tratamiento RUV diseñado en la presente investigación, este prototipo consta de la lampara de radiación ultravioleta, bomba, filtros, caudalímetro y accesorios complementarios (Ver tabla 19, pág. 88).

En esta etapa se armó el equipo piloto de RUV (Ver figura 33, pág. 87). La base del prototipo se construyó de metal recubierto con pintura epóxica (anticorrosiva) debido al contacto con el agua, adaptando la estructura en base a las necesidades del presente trabajo de investigación.

Para el armado del equipo de RUV se necesitaron las siguientes piezas principales para el proceso como filtros, caudalímetro y bomba acompañadas de tubo de ½ pulgada para agua, codos, uniones y válvulas (Ver tabla 8 y tabla 9, pág. 55).

Tabla 8

Equipos e instrumentos de medición

Equipos e instrumentos	
Caudalímetro	1.8 L/min a 8 L/min
Bomba eléctrica de agua	PX7-40 220V 60Hz 35W
Equipo de radiación ultravioleta	16 W
Filtros	5 y 1 micra

Tabla 9

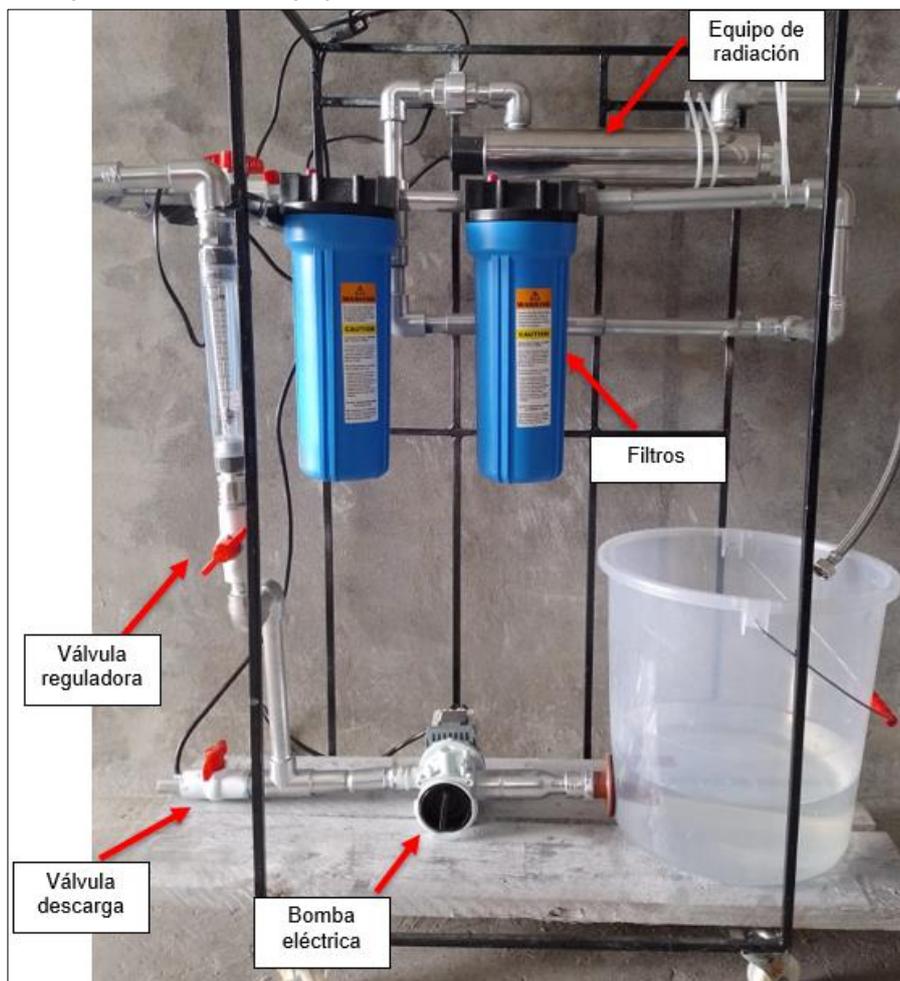
Materiales para el armado del equipo RUV

Materiales	
Tuberías de agua	½ pulgada
Codos de rosca	½ pulgada
Unión universal	½ pulgada
Balde	16 litros
Válvulas	5 unidades
Estructura de metal	Hierro galvanizado

Se armó el equipo para el tratamiento del agua del río Surco en función de las variables a manipular caudal y filtros (Ver figura 14).

Figura 14

Componentes del equipo RUV



El sistema de tuberías tiene 5 válvulas, una de purga o descarga de agua, otra reguladora del caudal, otra que cierra y abre el camino para hacer pasar el agua por los filtros, otra que también cierra y abre el paso para hacer pasar el agua directo al equipo de radiación y una última para cerrar el paso del retorno de agua (Ver figura 15).

Figura 15

Válvulas para direccionar el agua



Equipo de radiación ultravioleta. El equipo de radiación ultravioleta que contiene una lámpara inmersa dentro de un tubo de acero inoxidable de la marca HIDROTEK UV de UV – 16W con una capacidad 2 galones por minuto (Ver figura 16, pág. 57).

Equipo de filtración de sedimentos. El proceso de tratamiento también implica filtrar el agua con filtros de 5 y 1 micra para capturar las partículas presentes en la muestra de agua, las medidas corresponden a filtrar primero las partículas grandes para posterior pasar a retener con facilidad las más pequeñas. El objetivo de la filtración es retener las partículas en suspensión con la finalidad de que la radiación penetre todo el cuerpo de agua sin interferencia. Para visualizar los componentes del equipo a

detalle se coloca el anexo componentes del equipo de tratamiento por radiación (Ver tabla 19, pág. 88).

Figura 16

Lampara de radiación ultravioleta



Fuente: Manual del equipo proporcionado por el proveedor

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Para esta investigación el diseño experimental se desarrolló mediante el método factorial con 3 caudales y 2 niveles de filtros haciendo el trabajo por duplicado, obteniéndose pruebas experimentales con sus respectivas replicas, para el procesamiento de datos y resultados de las pruebas experimentales. Para el análisis estadístico de ANOVA se utilizó el software Minitab19, que nos permitió identificar si los parámetros operacionales planteados influyeron significativamente en el proceso de reducción de microorganismos presentes en el agua del río Surco, de esta manera poder constatar las hipótesis planteadas. También permitió obtener gráficos y tablas que nos ayudaron a resumir los datos e interpretar los resultados estadísticos.

4.7. Aspectos éticos en investigación

Los datos y métodos proporcionados en la presente investigación se nutren de los antecedentes teóricos, la parte experimental fue desarrollada por las dos tesis y para tener resultados fidedignos contratamos un laboratorio acreditado para que realice los análisis respectivos.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Caracterización del agua de riego del río Surco

De acuerdo con las técnicas empleados para la caracterización del agua de riego del río Surco en los dos puntos de muestreo se obtuvieron los resultados de los parámetros fisicoquímicos y biológicos que se muestran en la tabla 10 y en la tabla 11 (Pág. 59).

Tabla 10

Resultados de la caracterización de la muestra en el reservorio del Parque Ramón Castilla

Ensayo	Unidad	Resultado
Turbidez	NTU	1.51
Sólidos suspendidos totales	NTU	12
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100	540
Coliformes termotolerantes	NMP/100	540
Huevos de helmintos	N° org/L	< 1

NOTA: Resultado emitido por ALAB

Los resultados encontrados en la tabla 10 demostraron que con el paso del tiempo las partículas presentes en el agua se sedimentan en el fondo del reservorio arrastrando con ella gran cantidad de contaminantes biológicos por ello no fue considerada como muestra representativa. Es importante mencionar que tanto el camión cisterna como el riego tecnificado al momento de succionar el agua con la electrobomba agitan todos los componentes que existen dentro del reservorio (sólidos suspendidos totales con contaminantes biológicos) extrayendo junto al agua gran cantidad de contaminantes y trasladándolo para el riego de las áreas verdes públicas. Los resultados encontrados en la tabla 11 (Pág. 59) sí representan a nuestra población por lo que después de evaluar a los dos puntos seleccionados se definió como el punto representativo de muestreo al canal de ingreso del agua del río Surco al distrito de Lince en la Av. Paseo de la República cuadra 26.

Tabla 11

Caracterización del agua de río Surco al ingreso del distrito de Lince - Av. Paseo de la Republica cuadra 26.

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
Coliforme fecales (termotolerantes) (NMP)	NMP/100mL	70 000.00
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	NMP/100mL	70 000.00
Huevos de helmintos	Huevos/L	<1.0
Turbidez	NTU	28.30
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	65.80

Fuente: Laboratorio ALAB

5.1.2. Tratamiento de las aguas del río Surco

Al realizar los ensayos (Ver tabla 12) se inicia con el tratamiento (T0) cuyo resultado es 70000 NMP/100ml para coliformes termotolerantes y 70000 NMP/100ml para *escherichia coli*, estas muestras fueron tratadas a diferentes condiciones de caudales, sin filtro (SF) y con filtro (CF) obteniéndose valores para T1, T2, T3, T4, T5, T6 por duplicado (Ver anexo hojas de resultados del laboratorio figura 36 al 41, pág. 89).

Tabla 12

Caracterización del agua de riego antes y después del tratamiento.

Tratamientos	Caudal (L/min)	Filtro	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	Reducción de coliformes termotolerantes (%)	Reducción de <i>escherichia coli</i> (%)
T0	0	0	70000	70000	0.00	0.00
T1	1.8	SF	49	49	99.93	99.93
	1.8	SF	17	13	99.98	99.98
T2	1.8	CF	11	11	99.98	99.98
	1.8	CF	4	2	99.99	100.00
T3	2.6	SF	240	240	99.66	99.66
	2.6	SF	110	22	99.84	99.97
T4	2.6	CF	49	49	99.93	99.93
	2.6	CF	33	33	99.95	99.95
T5	4	SF	9200	9200	86.86	86.86
	4	SF	1600	1600	97.71	97.71
T6	4	CF	1600	1100	97.71	98.43
	4	CF	540	220	99.23	99.69

En la tabla 13, se muestra la estadística descriptiva de los tratamientos en medidas de media, desviación estándar, valor mínimo, mediana y valor máximo de la reducción de coliformes termotolerantes (%) y reducción de *escherichia coli* (%).

Tabla 13

Estadística descriptiva de los datos de los tratamientos.

Variables	Tratamientos	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Reducción de Coliformes termotolerantes (%)	T1	99.95	0.03	99.93	99.95	99.98
	T2	99.99	0.01	99.98	99.99	99.99
	T3	99.75	0.13	99.66	99.75	99.84
	T4	99.94	0.02	99.93	99.94	99.95
	T5	92.29	7.68	86.86	92.29	97.71
	T6	98.47	1.07	97.71	98.47	99.23
Reducción de <i>escherichia coli</i> (%)	T1	99.96	0.04	99.93	99.96	99.98
	T2	99.99	0.01	99.98	99.99	100.00
	T3	99.81	0.22	99.66	99.81	99.97
	T4	99.94	0.02	99.93	99.94	99.95
	T5	92.29	7.68	86.86	92.29	97.71
	T6	99.06	0.89	98.43	99.06	99.69

Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Análisis estadístico para la reducción de coliformes termotolerantes (%).

Prueba estadística de normalidad de residuales. Para realizar la prueba estadística de normalidad se deben analizar los residuos (e_{ij}) que son generados por la diferencia entre la respuesta observada (Y_{ij}) y la respuesta predicha (\hat{Y}_{ij}) por el modelo en cada tratamiento:

$$e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$$

Los residuales deben cumplir si son normales, evaluando mediante las hipótesis estadísticas en base a la prueba de normalidad de Anderson Darling (AD).

Siendo las hipótesis de prueba para el análisis de la normalidad:

H_0 : Los residuos siguen una distribución normal.

H_1 : Los residuos no siguen una distribución normal.

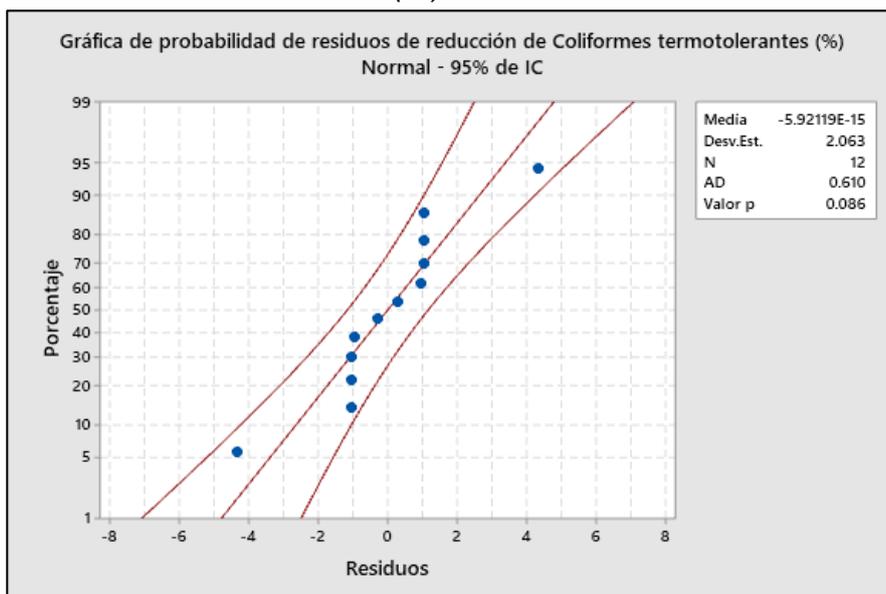
Nivel de significancia (α) = 0,05

Si el valor $p < \alpha$, se rechaza H_0 ; Si el valor $p > \alpha$, no se rechaza H_0

En la figura 17, para la condición de normalidad de los residuos de la variable reducción de coliformes termotolerantes (%), se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada con un coeficiente de correlación (AD) = 0.610 y el valor $p = 0.086$ que es mayor que el nivel de significancia de 0.05; por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), por lo se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Figura 17

Gráfica de probabilidad normal de residuos de la variable reducción de coliformes termotolerantes (%).



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

Prueba de hipótesis estadística de la reducción de coliformes termotolerantes (%). Las hipótesis estadísticas son:

$H_0: \tau_1=\tau_2=\tau_3=\tau_4=\tau_5=\tau_6$, todas las medias (promedios) de la reducción de coliformes termotolerantes (%) son iguales.

$H_1: \tau \neq 0$, por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia (α) = 0,05

Si el valor $p < \alpha$, se rechaza H_0 ; Si el valor $p > \alpha$, no se rechaza H_0

En la tabla 14, en el análisis de varianza, el valor p de los factores: Caudal y filtro (SF y CF) donde a un nivel de confianza del 95% el valor p es menor que el nivel de significancia utilizado de 0.05 donde existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las medias de los tratamientos son diferentes; es decir, que el caudal y filtro influyen de manera significativa en la reducción de coliformes termotolerantes (%).

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) para la reducción de coliformes termotolerantes (%).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	284.816	47.4693	1307.70	0.000
Bloques	1	0.005	0.0052	0.14	0.720
Lineal	3	202.957	67.6523	1863.71	0.000
Caudal (L/min)	2	159.642	79.8212	2198.95	0.000
Filtro	1	43.315	43.3146	1193.25	0.000
Interacciones de 2 términos	2	81.853	40.9267	1127.47	0.000
Caudal (L/min) *Filtro	2	81.853	40.9267	1127.47	0.000
Error	5	0.181	0.0363		
Total	11	284.997			

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab19.

Ecuación de regresión de la reducción de coliformes termotolerantes (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Reducción de coliformes termotolerantes (\%)} = & 97.3223 + 2.6210 \text{ caudal (L/min)}_{1.8} \\
 & + 2.5370 \text{ caudal(L/min)}_{2.6} - 5.1580 \text{ caudal} \\
 & \text{(L/min)}_{4.0} - 1.8999 \text{ filtro}_1 + 1.8999 \text{ filtro}_2 + \\
 & 1.9024 \text{ caudal (L/min)*filtro}_{1.8_1} - 1.9024 \\
 & \text{caudal (L/min)*filtro}_{1.8_2} + 1.7906 \text{ caudal} \\
 & \text{(L/min)*filtro}_{2.6_1} - 1.7906 \text{ caudal} \\
 & \text{(L/min)*filtro}_{2.6_2} - 3.6930 \text{ caudal} \\
 & \text{(L/min)*filtro}_{4.0_1} + 3.6930 \text{ caudal} \\
 & \text{(L/min)*filtro}_{4.0_2}
 \end{aligned}$$

En la tabla 15, el coeficiente de determinación (R^2 ajustado) es de 99.86% el cual es un valor adecuado de ajuste del modelo.

Tabla 15

Resumen del modelo de regresión de la reducción de coliformes termotolerantes (%)

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.190525	99.94%	99.86%	99.63%

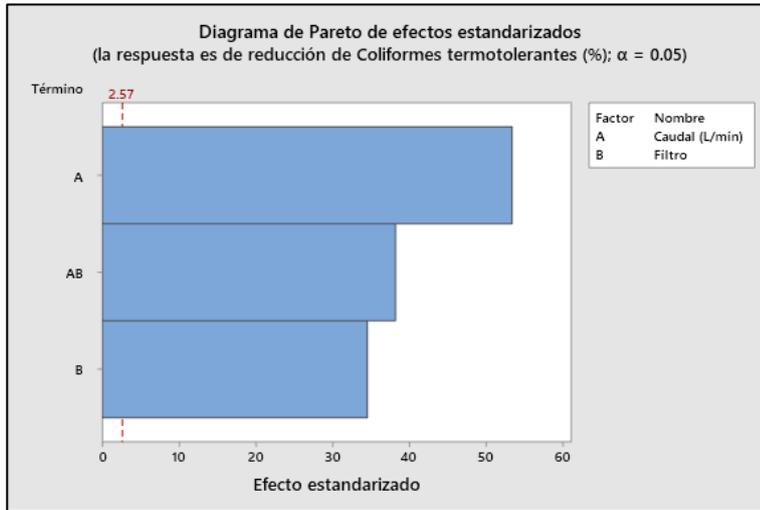
Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

Diagrama de Pareto de reducción de coliformes termotolerantes (%).

En la figura 18 (Pág. 64) se muestra que el caudal (A) es el factor que más influye en la reducción de coliformes termotolerantes seguido de la interacción (AB) y del filtro (B).

Figura 18

Diagrama de Pareto de reducción de coliformes termotolerantes (%).

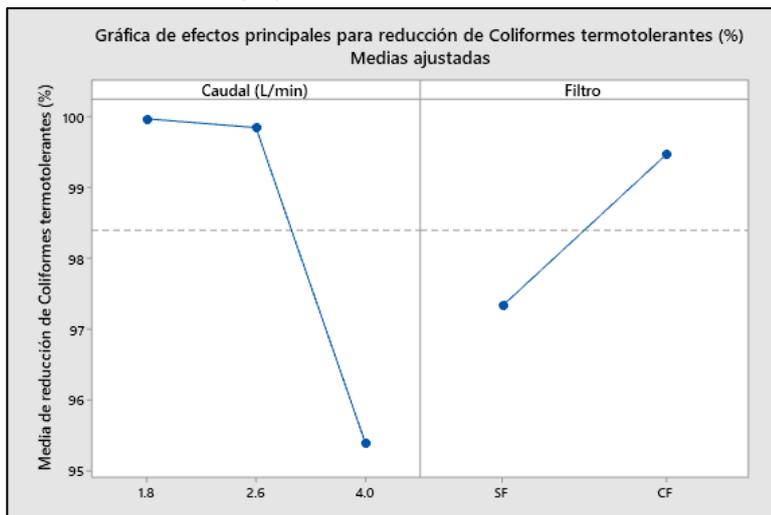


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

Gráficas de efectos principales en la reducción de coliformes termotolerantes (%). En la figura 19 se observa el porcentaje de reducción promedio de los coliformes termotolerantes para cada caudal, así mismo se observa el porcentaje de reducción promedio con la intervención de filtros como pretratamiento.

Figura 19

Gráfica de efectos principales para la reducción de coliformes termotolerantes (%).

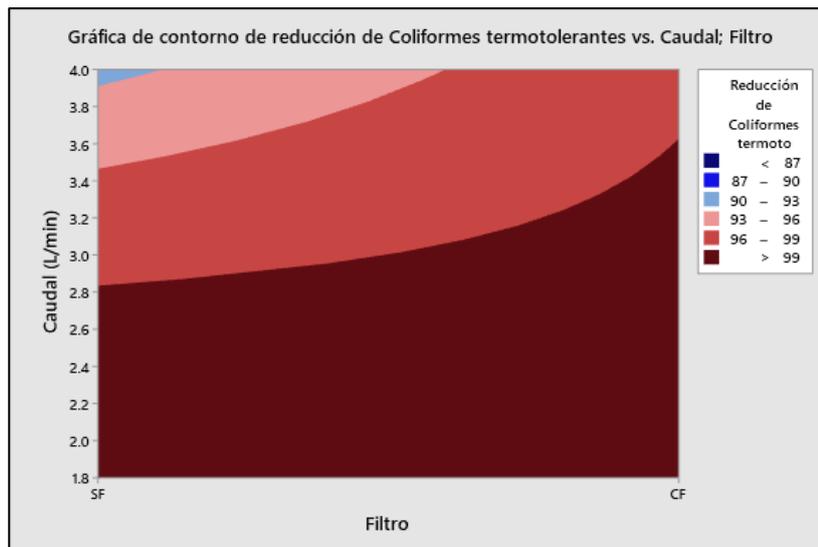


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

En la figura 20 se observa que para reducciones de coliformes termotolerantes mayores al 99% la radiación ultravioleta tiene mayor incidencia de desinfección en caudales de 1.8 L/min a 2.8 L/min sin filtro o con filtro.

Figura 20

Gráfica de contorno para la reducción coliformes termotolerantes vs caudal y filtro.



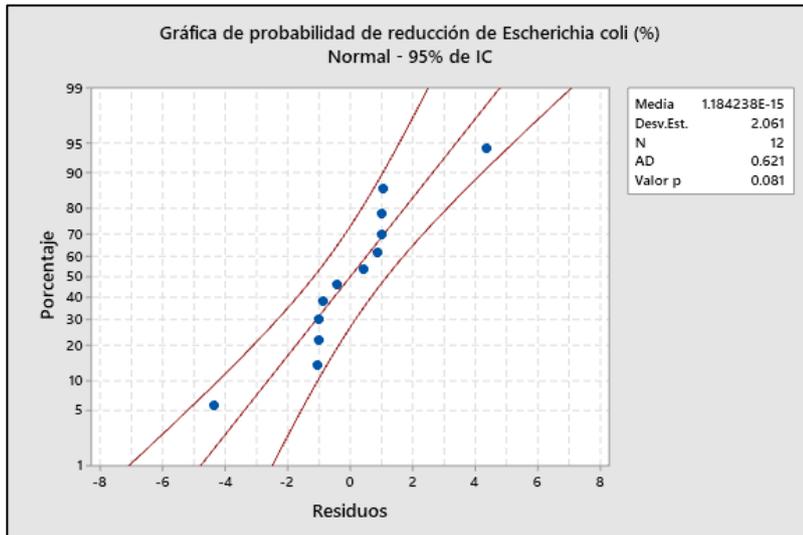
Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

5.2.2. Análisis estadístico para la reducción de *escherichia coli* (%).

Prueba estadística de normalidad de residuales. En la figura 21 (Pág. 66) para la condición de normalidad de los residuos de la variable reducción de *escherichia coli* (%), se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada con un coeficiente de correlación (AD) = 0.621 y el valor $p = 0.081$ que es mayor que el nivel de significancia de 0.05; por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), por lo se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Figura 21

Gráfica de probabilidad normal de residuos de la variable reducción de *escherichia coli* (%).



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

Prueba de hipótesis estadística de la reducción de *escherichia coli* (%). Las hipótesis estadísticas son:

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6$, todas las medias (promedios) de la reducción de *escherichia coli* (%).

$H_1: \tau \neq 0$, por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia (α) = 0,05

Si el valor $p < \alpha$, se rechaza H_0 ; Si el valor $p > \alpha$, no se rechaza H_0

En la tabla 16 (Pág. 67) en el análisis de varianza, el valor p de los factores: Caudal y filtro (SF y CF) donde a un nivel de confianza del 95% el valor p es menor que el nivel de significancia utilizado de 0.05 donde existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las medias de los tratamientos son diferentes; es decir, que el caudal y filtro influyen de manera significativa en la reducción de *escherichia coli* (%).

Tabla 16*Análisis de varianza para la reducción de escherichia coli (%).*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	285.675	47.6125	1661.70	0.000
Bloques	1	0.038	0.0377	1.32	0.303
Lineal	3	195.434	65.1446	2273.57	0.000
Caudal (L/min)	2	146.981	73.4907	2564.86	0.000
Filtro	1	48.452	48.4525	1691.01	0.000
Interacciones de 2 términos	2	90.203	45.1017	1574.07	0.000
Caudal (L/min) *Filtro	2	90.203	45.1017	1574.07	0.000
Error	5	0.143	0.0287		
Total	11	285.818			

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab19.

Ecuación de regresión de la reducción de *escherichia coli* (%). De acuerdo a los factores caudal y filtro se genera una ecuación de regresión donde se tiene la ecuación siendo 97.4061 la constante y de le suma los valores de cada nivel de cada factor que van de acuerdo al subíndice en la ecuación con su respectivo signo para determinar la reducción de *escherichia coli* en cada tratamiento:

$$\begin{aligned}
 \text{Reducción de } &= & 97.4061 & + & 2.5357 & \text{caudal (L/min)}_{1.8} & + & 2.4132 \\
 \text{escherichia (\%)} & & & & & \text{caudal (L/min)}_{2.6} & - & 4.9489 & \text{caudal (L/min)}_{4.0} \\
 & & & & & - & 2.0094 & \text{filtro}_1 & + & 2.0094 & \text{filtro}_2 & + & 2.0162 \\
 & & & & & \text{caudal (L/min)*filtro}_{1.8_1} & - & 2.0162 \\
 & & & & & \text{caudal (L/min)*filtro}_{1.8_2} & + & 1.8601 \\
 & & & & & \text{caudal (L/min)*filtro}_{2.6_1} & - & 1.8601 \\
 & & & & & \text{caudal (L/min)*filtro}_{2.6_2} & - & 3.8763 \\
 & & & & & \text{caudal (L/min)*filtro}_{4.0_1} & + & 3.8763 \\
 & & & & & \text{caudal (L/min)*filtro}_{4.0_2}
 \end{aligned}$$

En la tabla 17, el coeficiente de determinación (R^2 ajustado) es de 99.89% el cual es un valor adecuado de ajuste del modelo.

Tabla 17

Resumen del modelo de regresión de la reducción de escherichia coli (%).

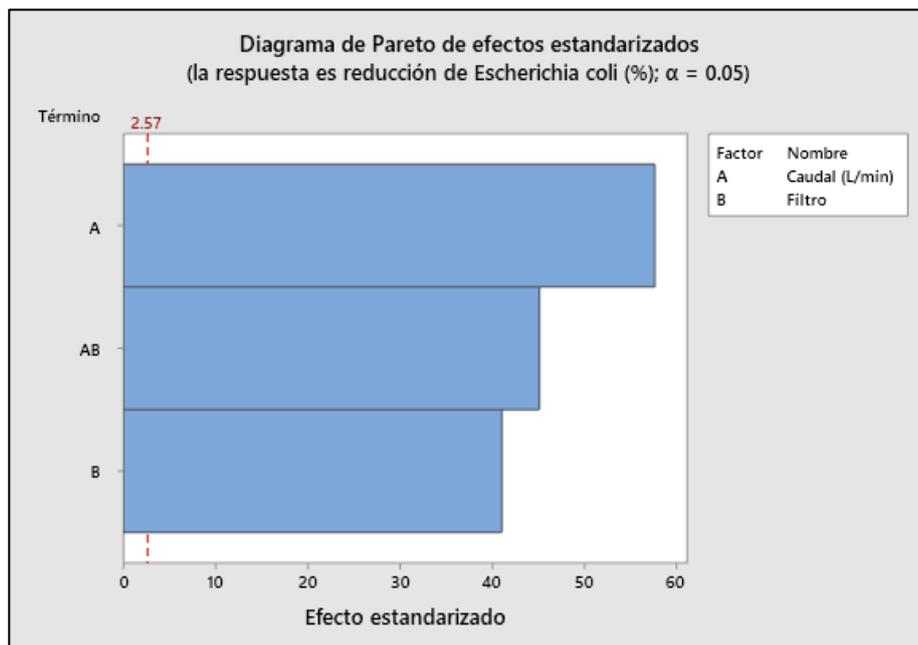
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.169272	99.95%	99.89%	99.71%

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab19.

Diagrama de Pareto de reducción de escherichia coli (%). En la figura 22 se muestra que el caudal (A) es el factor que más influye en la reducción de *escherichia coli* seguido de la interacción (AB) y del filtro (B).

Figura 22

Diagrama de Pareto de reducción de escherichia coli (%).

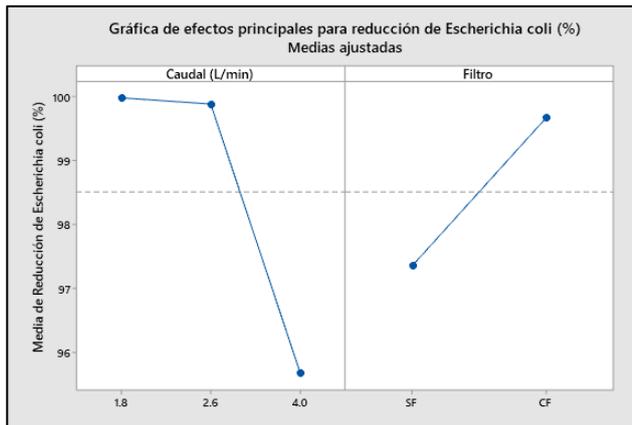


Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab19.

Gráficas de efectos principales en la reducción de *escherichia coli* (%). En la figura 23 se observa el porcentaje de reducción promedio de *escherichia coli* para cada caudal, así mismo se observa el porcentaje de reducción promedio con la intervención de filtros como pretratamiento.

Figura 23

Gráfica de efectos principales para la reducción de escherichia coli (%).

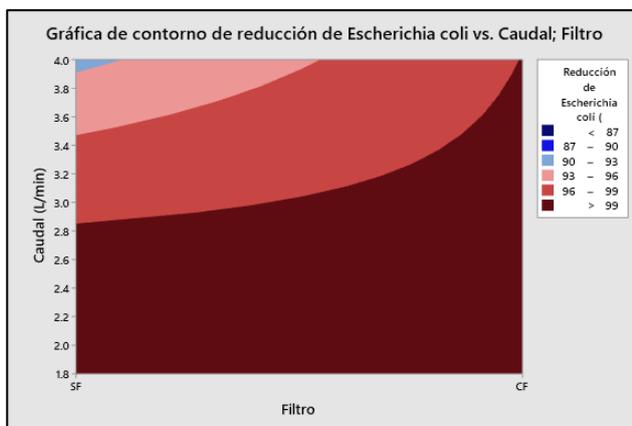


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

En la figura 24, se observa que para reducciones de *escherichia coli* mayores al 99% la radiación ultravioleta tiene mayor incidencia de desinfección en caudales de 1.8 L/min a 2.8 L/min sin filtro o con filtro.

Figura 24

Gráfica de contorno para la reducción escherichia coli vs caudal y filtro.



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab19.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Se planteó en la hipótesis general que mediante el tratamiento de radiación ultravioleta se podrá reducir un porcentaje mayor del 90% los contaminantes de las aguas de riego del río Surco.

De acuerdo con las experiencias realizadas se muestra en la tabla 18 los porcentajes de reducción más significativos que se logró en la presente investigación.

Tabla 18

Porcentajes de reducción significativo después del tratamiento

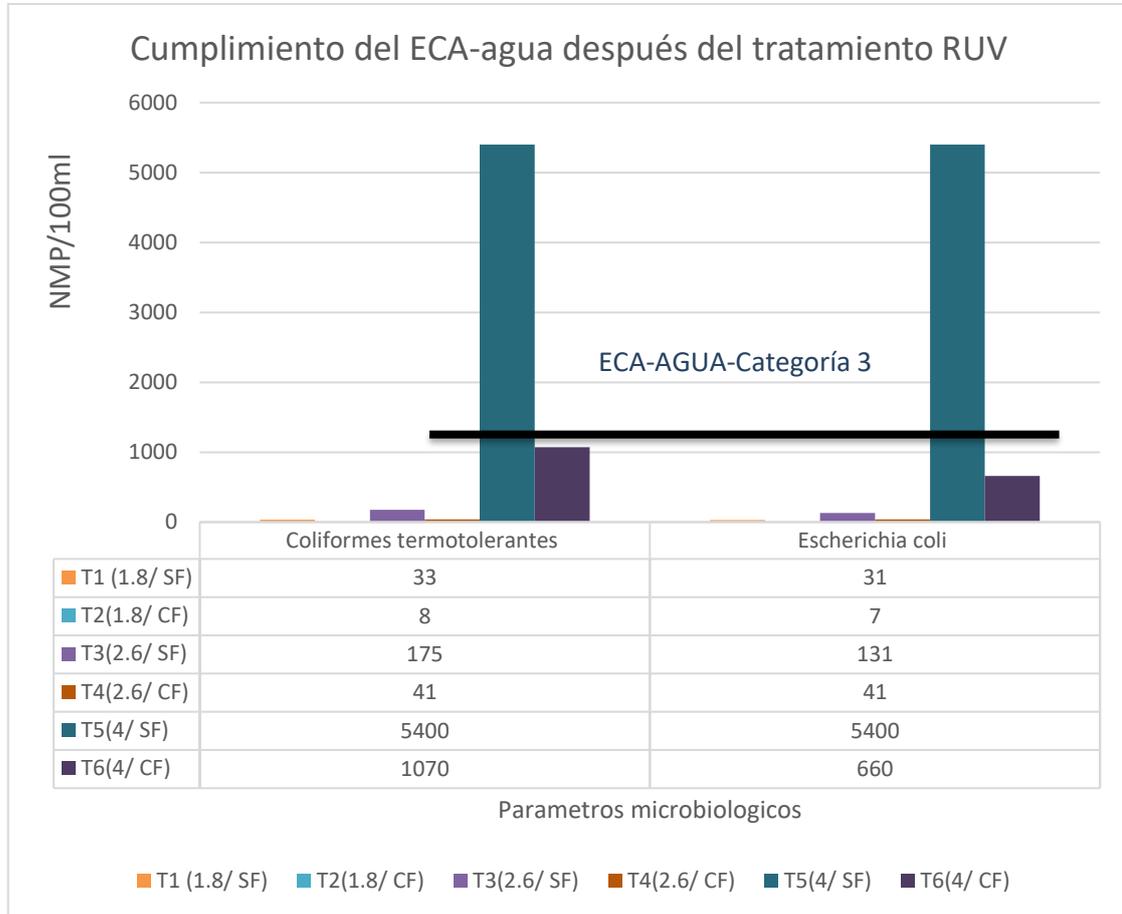
Parámetros	Caudal (L/min)	Filtro	Antes del tratamiento	Concentración promedio después del tratamiento	% Reducción
Reducción de coliformes termotolerantes (%)	1.8	CF	70000	8	99.99
	1.8	SF	70000	33	99.95
	2.6	CF	70000	41	99.94
	2.6	SF	70000	175	99.75
Reducción de <i>escherichia coli</i> (%)	1.8	CF	70000	7	99.99
	1.8	SF	70000	31	99.96
	2.6	CF	70000	41	99.94
	2.6	SF	70000	131	99.81

Nota: CF- con filtro y SF- sin filtro

La tabla 18 muestra que para caudales menores a 2.6 L/min y sin filtro el porcentaje de reducción aumenta, siendo para coliformes termotolerantes mayores a 99.75% y para *escherichia coli* mayores a 99.81%. En la figura 25 (Pág. 71) se observa que los tratamientos como T4, T3, T2 y T1 cumplen con el DS 004-2017 ECA-agua categoría 3 agua para riego no restringido.

Figura 25

Bloques comparativos del resultado de los tratamientos en cumplimiento con los ECA-agua.



En la primera hipótesis específica se mencionó que al definir las características biológicas del agua de riego del río Surco los resultados obtenidos muestran valores altos para los estándares de calidad ambiental para agua de riego, por ello se definió que la caracterización adecuada está establecida en la tabla 11 (Pág. 59) “Caracterización del agua de río Surco al ingreso del distrito de Lince” observándose que solo hay presencia de coliforme termotolerantes y *escherichia coli* cuyos valores fueron de 70000 NMP/100mL para ambos microorganismos y que dicho resultado supera los valores establecidos por el ECA-agua que pone un límite máximo de 1000 NMP/100mL.

En la segunda hipótesis específica se mencionó que los parámetros adecuados para la reducción de carga biológica son el caudal y los sólidos suspendidos

totales (SST), la importancia de los SST se monitoreaba con la presencia o ausencia de filtros en las corridas experimentales, para tales resultados se encontró que:

- De acuerdo con la caracterización que se realizó (Ver tabla 11, pág. 59) existe poca cantidad de SST por lo que este parámetro no fue impedimento para que la luz ultravioleta actúe sobre los microorganismos logrando la desinfección, en tal sentido este parámetro no influye significativamente por su poca presencia en las condiciones de agua tomadas inicialmente para el cumplimiento de los ECA-agua.
- La modificación de los caudales influye en el tratamiento de radiación ultravioleta por ello en la tabla 18 (Pág. 70) se observa que la reducción y cumplimiento del ECA para agua se logra con caudales menores a 2.6 L/min con o sin presencia de filtros.
- En el “diagrama de Pareto”, tanto para coliformes termotolerantes como para *escherichia coli* (Ver figura 18, pág. 64 y figura 22, pág. 68), se observa que el caudal es el factor que más influye en la reducción, seguida de la combinación de caudal y filtro.
- En la “Gráfica de efectos principales”, tanto para coliformes termotolerantes como para *escherichia coli* (Ver figura 19, pág. 64 y figura 23, pág. 69), se observa que los caudales más influyentes en la reducción son los valores de 2.6 y 1.8 L/min y si se compara la presencia o no de filtros se observa que filtrando el agua la desinfección aumenta.
- En la “Gráfica de contorno”, tanto para coliformes termotolerantes como para *escherichia coli* (Ver figura 20, pág. 65 y figura 24, pág. 69), se observa que para caudales menores a 2.8 L/min, sin filtro o con filtro el porcentaje de reducción supera el 99%.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

El estudio de Solsona [2] es un libro “Desinfección del agua” donde recopila información sobre la inactivación de distintos tipos de organismos patógenos mediante la aplicación de radiación ultravioleta el investigador manifiesta que la

destrucción de esos patógenos presentes en el agua pueden llegar hasta el 99.99%, en base a nuestro estudio también hemos comprobado que es posible lograr una reducción del 99.99% cuando los caudales de trabajos son cada vez más bajos ya que hay un mayor tiempo de contacto entre la radiación ultravioleta y los organismos patógenos.

Véliz [8] en su informe final de investigación titulada “Desinfección del efluente secundario de la planta de tratamiento de agua residual de Ayacucho mediante radiación ultravioleta con fines de mejorar su calidad” logró la mejora de la calidad del agua para que sea reutilizada en el riego de uso agrícola en cumplimiento a las normativas de calidad para agua, nuestro trabajo de investigación también se enfocó en cumplir con los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3 inciso D agua para riego no restringido, logrando también mejorar la calidad del agua de riego del río Surco para uso en parques y jardines y cumplir con el DS-004-2017 MINAM.

Para Mauricio et al. [12]. En su tesis titulado “Interference analysis of physical parameters of water in radiation UV disinfection” realizaron su estudio variando los parámetros que influyeron en la inactivación de microorganismos, siendo uno de los parámetros la turbidez y las concentraciones de contaminantes microbiológicos, en su experiencia comprobaron la importancia de los pretratamiento comparandola con nuestra investigación también se dieron resultados favorables cuando las muestras pasan por un pretratamiento de retención de sólidos mediante la utilización de los filtros encontrando porcentajes de reducción mayores al 99.94%.

La investigación realizada por Calderón [14] quien a través de su tesis “Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamientos de aguas residuales a base de luz ultravioleta” realizó sus ensayos en función a cinco caudales y teniendo como indicador a la concentración de coliformes totales en su trabajo sostuvo que a menor caudal logra una eliminación del 100% de coliformes totales, comparándolo con nuestro trabajo también se logró una reducción del 99.99% cuando la muestra fue expuesta al caudal de 1.8 L/min.

Para Beltrán [18] en su tesis “Aplicación de luz ultravioleta para la desinfección de efluentes secundarios con alto contenido de patógenos” demostró que la calidad inicial de la muestra influye en la eficacia de la desinfección en la que consideró el diámetro de las partículas presentes en su muestra de agua y su efecto para la demanda de luz ultravioleta, por ello en nuestra investigación en la primera etapa de nuestra metodología se caracterizó al agua del río Surco a tratar y se hizo un pretratamiento con el sistema de filtros que permitan como máximo el paso de partículas de diámetro menores a $1\mu\text{m}$ para conseguir una adecuada reducción microbiana.

Chambi [22] en su trabajo “Evaluación experimental del uso de la radiación ultravioleta en la descontaminación bacteriana de las aguas del río Chili” demostró una eficiencia del 90% utilizando lamparas de distintas intensidades 110 W y 150 W, nosotras hemos utilizado una lampara de 16W de potencia consiguiendo tambien una reduccion mayor al 90%.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en el presente informe final de investigación, de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de investigación de la UNAC, Resolución del Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

VII. CONCLUSIONES

- ✓ Mediante el método de la radiación ultravioleta se ha conseguido reducir la concentración de la carga biológica existente en el agua de riego del río Surco en cantidades mayores al 99.75% para coliformes termotolerantes y 99.81% para *escherichia coli*, por lo que este tratamiento es efectivo para disminuir la carga biológica cuando las concentraciones de sólidos suspendidos totales y turbidez es baja.
- ✓ En la caracterización de las aguas de riego del río Surco se ha encontrado un alto contenido de microorganismos reportando para coliformes termotolerantes 70000 NMP/100ml, para *escherichia coli* 70000 NMP/100ml y un bajo contenido de sólidos suspendidos totales de 65.8mg/L, de turbidez 28.30 NTU y de huevos de helmintos cantidades menores a 1huevo/L, este último parámetro si cumpliría con los estándares de calidad ambiental para agua de riego a diferencia de los parámetros microbiológicos que superan notablemente estos estándares.
- ✓ Hemos determinado que los parámetros operacionales adecuados son el caudal y el sistema de filtros, en los diagramas de Pareto (Ver figura 18, pág. 64 y figura 22, pág. 68) y en la tabla 18, pág. 70, “Porcentajes de reducción significativo después del tratamiento” tanto para coliformes termotolerantes como para *escherichia coli*, se observa que el factor más influyente para la reducción y el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental para agua (categoría 3 agua para riego no restringido) es el caudal sin la necesidad de la intervención de filtros por lo que la presencia de filtros tiene poca influencia por la baja cantidad de sólidos suspendidos totales presentes en el agua.

VIII. RECOMENDACIONES

- ✓ Para aguas con gran cantidad de sólidos suspendidos y alto grado de turbidez se recomienda realizar un pretratamiento físico de filtración antes de pasar por la radiación ultravioleta.
- ✓ Se recomienda evaluar el tratamiento en distintas épocas del año ya que las concentraciones de los contaminantes biológicos varían.
- ✓ Se recomienda continuar con la investigación para la determinación de la dosis de radiación ultravioleta óptimo para conocer las características del fluido y el tiempo transcurrido en el reactor.
- ✓ Este tratamiento es efectivo de tal forma puede ser utilizado por los municipios que utilizan el agua del río Surco para el riego de sus parques y jardines debido a que sobresale por su alto grado de efectividad, por su fácil uso, por su corto tiempo de desinfección y porque no deja residuos en el agua.
- ✓ Sabiendo que la desinfección es efectiva se recomienda realizar los cálculos necesarios a nivel piloto para el tratamiento de radiación ultravioleta en base a los caudales reales de distribución de agua en los reservorios.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINAM, “Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua,” *El Peruano*, pp. 6–9, 2017.
- [2] F. SOLSONA and J. MÉNDEZ, *Desinfección de agua*. 2002.
- [3] M. J. ANDRADE, “Uso de la radiación ultravioleta en la industria agroalimentaria,” in *Revista Científica Ecuatoriana*, 2019, vol. 6, p. 14.
- [4] Á. F. MOROTE, “La planificación y gestión de los recursos hídricos en España: aproximación a los principales grupos y líneas de investigación,” *Investig. Geográficas*, no. 62, p. 113, 2014, doi: 10.14198/ingeo2014.62.08.
- [5] D. MILLÁN, L. ROMERO, M. BRITO, and A. Y. RAMOS-Villarroel, “Ultraviolet light: microbial inactivation on fruits,” *Saber*, vol. 27, no. 3, pp. 454–469, 2015, [Online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- [6] B. FONTAL, “The Electromagnetic Spectrum and its Applications,” *Química-Ciencias-ULA*, pp. 1–151, 2015.
- [7] L. J. ROSSEL, L. A. ROSSEL, F. FERRO, and A. GONZALES, “Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable,” *Rev. Investig. Altoandinas*, vol. 22, no. 1, pp. 68–77, 2014, [Online]. Available: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572020000100068.
- [8] R. VÉLIZ, “Desinfección del efluente secundario de la planta de tratamiento de agua residual de Ayacucho mediante radiación ultravioleta con fines de mejorar su calidad,” p. 132, 2015.
- [9] Y. N. QUISPE, “Gestión Del Agua Para Riego De Áreas Verdes En El Distrito De Pueblo Libre, Lima, Perú,” 2018.
- [10] M. ORTIZ, “‘La ciudad nos agrade’: Gestionando conflictos por el agua en Lima Metropolitana. El caso del canal de riego Surco (2008 – 2016),” 2017.
- [11] L. TAPIA and A. VARGAS, “Estudio de la eficiencia de inactivación y reactivación mediante radiación ultravioleta en bacterias *Escherichia coli* y *Enterococcus sp.* naturales, contenidas en agua residual,” 2021.
- [12] P. MAURICIO, A. CASTELLANO, C. ANDRÉS, C. CAMARGO, N. RAFAEL, and P. GRANADOS, “Interference analysis of physical

- parameters of water in radiation UV disinfection,” 2015.
- [13] G. MARCOS, L. GLAYCE, S. ADALBERTO, P. ANNIBAL, and F. MARQUES, “Aplicación de radiación ultravioleta como contribución a la química verde y construcción de un reactor fotoquímico alternativo y de bajo costo para el pretratamiento de muestras,” vol. 37, no. 2, pp. 337–343, 2014.
- [14] G. CALDERÓN, “Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamientos de aguas residuales a base de luz ultravioleta,” pp. 1–117, 2014, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7256/1/UPS-CT004152.pdf>.
- [15] F. MEZA and P. ALVEZ, “Desinfección por Luz Ultravioleta,” *Prosab*, pp. 25–31, 2013.
- [16] M. SÁNCHEZ, N. VILLALOBOS, E. GUTIÉRREZ, and Y. CALDERA, “Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización Design of disinfection equipment for ultraviolet light to wastewater treatment with goals of reutilization,” pp. 11–18, 2012.
- [17] J. L. MATTA, J. M. RAMOS, R. A. ARMSTRONG, and H. D’ANTONI, “Niveles de luz ultravioleta ambiental asociados con apoptosis y necrosis en fibroblastos humanos,” *Acta Bioquim. Clin. Latinoam.*, vol. 40, no. 4, pp. 553–560, 2006.
- [18] N. A. BELTRÁN, *Aplicación De Luz Ultravioleta Para La Desinfección De Efluentes Secundarios Con Alto Contenido De Patógenos*. 2006.
- [19] N. BELTRÁN and B. JIMÉNEZ, “Eficiencia de la luz ultravioleta para la desinfección de agua residual con alto contenido de patógenos.,” *Researchgate*, no. January, pp. 1–3, 2000, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/267789004>.
- [20] Wright and Cairns, “LUZ ULTRAVIOLETA,” *Gore Road*, 1998.
- [21] E. ESPINOZA and P. MARTINES, “Diseño y construcción de un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial usando ozono y radiación ultravioleta en el aeropuerto de Jaén,” *Rev. Científica Pakamuros*, vol. 10, no. 1, pp. 51–65, 2022, doi: 10.37787/pakamuros-unj.v10i1.268.
- [22] V. N. CHAMBI, “Evaluación Experimental Del Uso De La Radiación Ultravioleta En La Descontaminación Bacteriana De Las Aguas Del Río Chili,” 2021.
- [23] P. PEREZ, “Evaluación de la fotodegradación de un medio acuoso con radiación UV natural y artificial,” 2019.
- [24] C. C. R. QUISPE, “Implementación de un prototipo de control de potencia

para una lámpara de luz ultravioleta aplicado en el estudio de desinfección de aguas industriales,” 2018.

- [25] E. G. ARONÉS, Y. G. PALOMINO Malpatida, R. HUINCHO Rodríguez, and R. R. VÉLIZ Flores, “Desinfección del efluente secundario de la planta de agua residual de Ayacucho con radiación ultravioleta para su reutilización en riego agrícola,” *Rev. la Soc. Química del Perú*, vol. 84, no. 1, pp. 41–56, 2018, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v84n1/a05v84n1.pdf>.
- [26] S.-H. Comisión de Usuarios, “Memoria anual 2017,” 2017.
- [27] A. N. del agua ANA, *Ley de los Recursos Hídricos N° 29338*. 2022.
- [28] W. DELGADO and M. S. DELGADO, “Universidad de Lambayeque,” 2019.
- [29] E. GARCÍA and M. CARDABA, “Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias AETS-ISCIH,” 2020.
- [30] V. DOMÍNGUEZ, “Influencia del gen xthA en la activación de la respuesta SOS de Escherichia coli,” 2013.
- [31] M. CRISTIANI, R. BRANDI, F. TEDESCHI, and F. ZALAZAR, “Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina,” *News.Ge*, p. <https://news.ge/anakliis-porti-aris-qveynis-momava>, 2019.
- [32] K. MORALES, “Evidencia científica disponible sobre los efectos que ejercen los rayos ultravioletas tipo C sobre microorganismos intrahospitalarios. Revisión Sistemática,” vol. 3, pp. 1–9, 2021.
- [33] L. REBOLLO Ferreiro and M. MARTÍN-Loeches Garrido, “Diez preguntas elementales sobre aguas subterráneas,” *Enseñanza las Ciencias la Tierra*, vol. 15, no. 3, pp. 240–249, 2007.
- [34] L. ZAPATA, “Respuestas a la crisis hídrica en zonas agrícolas y urbanas: Caso de estudio ‘Proyecto de Irrigación Majes Siguan’ Arequipa – Perú,” *Agua y Territ.*, no. 12, pp. 145–156, 2018, doi: 10.17561/at.12.3532.
- [35] J. J. HIM, K. NÚÑEZ, and A. GONZÁLEZ, “Contaminación por coliformes y evaluación físicoquímica del agua en las cercanías de la desembocadura de Río Mariato, Veraguas, Panamá,” *Rev. Col. Cienc.*, vol. 3, no. 2, pp. 90–101, 2022, [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0002-7872-4098>.
- [36] ANA, “Informe técnico de resultados del primer monitoreo participativo de la calidad del agua superficial de la Cuenca del Río Rímac,” p. 34, 2020, [Online]. Available: <https://geo.ana.gob.pe/geohidro/>.
- [37] A. GUTIÉRREZ *et al.*, “Aislamiento y cuantificación de microorganismos,” in *Manual de Microbiología General I*, 2020, p. 80.

- [38] Y. GUEVARA, "Universidad nacional de jaén," 2021.
- [39] J. M. HERNÁNDEZ, L. A. GARCÍA, R. GARCIA, A. CUETO, and J. A. CARMONA, "Estudio científico de la fotodegradación del naranja de metilo en presencia de TiO," vol. 3, no. 2, pp. 25–34, 2012.
- [40] G. A. LARA, M. C. NAVARRO, and J. ATENCIO, "Estudio de fotoreactivación en cultivos microbiológicos obtenidos de carga microbiana de la superficie de fresas sometidas a diferentes dosis de luz ultra violeta de onda corta UV-C," *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, vol. 5, no. 1, 2018, doi: 10.23850/24220582.1148.

ANEXOS

- Anexo 1: Matriz de consistencia.
- Anexo 2: Solicitud de pedido de la muestra al distrito de Lince.
- Anexo 3: Registro fotográfico de actividad experimental.
- Anexo 4: Componentes del equipo de tratamiento
- Anexo 5: Resultado de laboratorio ALAB
- Anexo 6: Resultados del reservorio del parque Ramón Castilla
- Anexo 7: Decreto Supremo N°004-2017 MINAM

Anexo 1:

Matriz de consistencia: Tratamiento de las aguas de riego del río Surco mediante radiación ultravioleta.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo se logrará la reducción de los contaminantes de las aguas de riego del río Surco mediante el tratamiento de radiación ultravioleta?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Reducir la contaminación de las aguas de riego del río Surco mediante el tratamiento de radiación ultravioleta.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Mediante el tratamiento de radiación ultravioleta se podrá reducir un porcentaje mayor del 90% los contaminantes de las aguas de riego del río Surco.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Y= Reducción de los contaminantes de las aguas de riego del río Surco.</p>	<p>NMP/100mL de coliformes fecales.</p> <p>NMP/100mL de escherichia coli.</p> <p>N° org/L de huevos de helmintos.</p>	<p>% de los contaminantes antes y después de la radiación ultravioleta.</p>	<p>Tubos múltiples</p> <p>Tubos múltiples</p> <p>Cuantificación e identificación de helmintos</p>
<p>Problema específico</p> <p>¿Cuáles son las características físicoquímicas y biológicas de las aguas de riego del río surco?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Caracterizar las aguas de riego del río Surco.</p>	<p>Hipótesis específica</p> <p>Al definir las características biológicas del agua de riego del río Surco los resultados obtenidos muestran valores altos para los estándares de calidad ambiental de agua de riego.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Parámetros del tratamiento mediante radiación ultravioleta.</p>	<p>DIMENSIONES</p> <p>NMP/100</p> <p>NMP/100</p> <p>Org. /L</p> <p>mg/L</p> <p>NTU</p>	<p>INDICADORES</p> <p>Concentración microbiológica y parasitológica</p> <p>Sólidos suspendidos totales</p> <p>Turbidez</p>	<p>MÉTODO</p> <p>Laboratorio acreditado</p>
<p>¿Cuáles serán los parámetros de operación adecuados para reducir la carga biológica en el agua del río Surco mediante la radiación ultravioleta?</p>	<p>Determinar los parámetros adecuados para la reducción de la carga biológica en el agua de riego del río Surco mediante la radiación ultravioleta.</p>	<p>Los parámetros adecuados para la reducción de la carga biológica son el caudal y los sólidos suspendidos totales presentes en el agua de riego del río Surco.</p>		<p>L/min</p> <p>mg/L</p>	<p>Caudal del agua contaminada</p> <p>Sólidos suspendidos totales</p>	<p>Cudalímetro</p> <p>Método gravimétrico</p>

Anexo 2: Solicitud de pedido de muestra al distrito de Lince

Figura 26

Solicitud de muestra

		Municipalidad Distrital de Lince	Gerencia de Gestión Ambiental		Firmado digitalmente por: PEÑA ROYES Miguel Ángel PAU 2012126767 Fecha: 12/08/2022 14:52:38
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"					
Lince, 12 de agosto del 2022					
<u>CARTA N° 231-2022-MDL-GGA</u>					
Señora JUDITH FIORELA TAPIA OLIVEROS Calle Gamma MzB7 Lt 22-Bocanegra-Callao Presente. –					
Asunto: Solicitud de autorización para muestra de agua de riego para desarrollar proyecto de tesis					
Referencia: Trámite E012214305					
De mi consideración:					
Es grato dirigirme a usted, para saludarla cordialmente en nombre de la Gerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Lince, y en atención a su solicitud con registro de trámite N° E012214305, mediante el cual solicita autorización para llevar muestras de agua de riego para desarrollar su proyecto de tesis, en donde la investigación consta en proponer mejoras al estado actual de la calidad del agua mediante radiación ultravioleta.					
Sobre el particular, es preciso indicar que, las Municipalidades Distritales están obligadas a conservar, defender, proteger y mantener el arbolado urbano en áreas públicas bajo su jurisdicción. Este deber alcanza también a las personas jurídicas y a todo ciudadano.					
Asimismo, los ciudadanos tienen el deber de conservar las plantas, árboles e instalaciones complementarias y mantenerlas en buen estado. El arbolado urbano dada su naturaleza de patrimonio natural tiene un valor dado por factores como la especie, estado físico, sanitario y servicios ambientales.					
En este sentido, se le AUTORIZA para que pueda obtener la muestra de agua de riego que necesita para desarrollar su proyecto de tesis, y con ello pueda lograr los objetivos que se ha propuesto, asimismo deberá cumplir con los Lineamientos y Protocolos para la Protección del Arbolado Urbano que se adjunta al presente.					
Agradeciendo la atención a la presente, aprovecho la ocasión para reiterarle las muestras de mi consideración.					
Atentamente,					
DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE					
Miguel Ángel Peña Reyes Gerente de Gestión Ambiental (e) MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LINCE					
	Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LINCE en cumplimiento de lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la lectura del código QR o el siguiente enlace: http://tramite.munilince.gob.pe/idFile.php?var=wf2019f0c1%28%28vqCjY56j2WZ1N4u62%2F0x04cv7gw9%3D				

Anexo 3: Registro fotográfico de la actividad experimental

Figura 27

Toma de muestra en el reservorio del parque Ramon Castilla



Figura 28

Extracción de la muestra



Figura 29

Rotulando de envases entregados por el laboratorio



Figura 30

Recolección de muestras para ser enviadas al laboratorio ALAB



Figura 31

Toma de muestra de agua al ingreso del distrito de Lince en Av. Paseo de la República cuadra 26



Figura 32

Ubicación de la toma de agua donde transcurre el canal del río Surco



Figura 33

Instalación del equipo de radiación



Figura 34

Evaluación de los caudales variantes para la investigación



Anexo 4: Componentes del equipo de tratamiento por radiación

Tabla 19

Componentes del equipo de tratamiento por radiación

Nombre	Imagen	Nombre	Imagen
Bomba eléctrica		Filtros de 5 y 1 micra	
Caudalímetro		Lampara de radiación ultravioleta	

Anexo 5: Resultados de laboratorio ALAB

Figura 35

Caracterización

				LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 096			
INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-16014							
N° Id.: 000059691							
IV. RESULTADOS							
ITEM				1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-48762			
CÓDIGO DEL CLIENTE:				A-RL			
COORDENADAS:				NO APLICA			
UTM WGS 84:				NO APLICA			
PRODUCTO:				Agua Natural			
SUB PRODUCTO:				Agua Superficial de Río			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :				14-09-2022 11:00			
ENSAYO		UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)		NMP/100mL	NA	1,8	70 000,0		
Escherchia Coli (NMP) (*)		NMP/100mL	NA	1,8	70 000,0		
Huevos de Helminthos ²		Huevo/L	NA	1,0	<1,0		
Turbidez (*)		NTU	NA	0,01	28,30		
Sólidos Suspensidos Totales (*)		mg/L	2,0	5,0	65,8		

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA
² Ensayo acreditado por el IAS
 L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.
 NA: No Aplica

Figura 36

Primera corrida

		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096				
INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-16028						
N° Id.: 000059705						
IV. RESULTADOS						
ITEM		1		2		
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-22-48791		M-22-48792		
CÓDIGO DEL CLIENTE:		P8		P3		
COORDENADAS:		NO APLICA		NO APLICA		
UTM WGS 84:		NO APLICA		NO APLICA		
PRODUCTO:		Agua Natural		Agua Natural		
SUB PRODUCTO:		Agua Superficial de Río		Agua Superficial de Río		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA				
FECHA y HORA DE MUESTREO :		14-09-2022 19:50		14-09-2022 20:00		
ENSAYO		UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)		NMP/100mL	NA	1,8	33,0	1 600,0
Escherchia Coli (NMP) (*)		NMP/100mL	NA	1,8	33,0	1 100,0

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA
 L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.
 NA: No Aplica

Figura 37

Segunda corrida



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-16016

N° Id.: 0000059693

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-48771	M-22-48772
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P4	P1
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :	14-09-2022 18:50	14-09-2022 19:00

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	540,0	9 200,0
Escherichia Coli (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	220,0	9 200,0

*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, *<= Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

Figura 38

Tercera corrida



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-16017

N° Id.: 0000059694

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-48773	M-22-48774
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P2	P5
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :	14-09-2022 19:15	14-09-2022 19:30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	1 600,0	240,0
Escherichia Coli (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	1 600,0	240,0

*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, *<= Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

Figura 39

Cuarta corrida



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-16018

N° Id.: 0000059695

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-48775	M-22-48776
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P6	P12
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :	14-09-2022 20:30	14-09-2022 20:40

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	110,0	4,0
Escherichia Coli (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	22,0	2,0

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

Figura 40

Quinta corrida



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-16024

N° Id.: 0000059701

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-48785	M-22-48786
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P9	P10
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :	14-09-2022 21:25	14-09-2022 21:35

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	49,0	17,0
Escherichia Coli (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	49,0	13,0

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

Figura 41

Sexta corrida



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-16026

N° Id.: 0000059703

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-48788	M-22-48789
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P7	P11
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :	14-09-2022 21:00	14-09-2022 21:10

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	49,0	11,0
Escherchia Coli (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	49,0	11,0

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, *<= Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

Anexo 6: Resultados del reservorio del parque Ramón Castilla

Figura 42

Punto de muestreo: Parque Ramón Castilla-reservorio

				LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 096			
						Registro N° LE - 096	
INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-14002							
N° Id.: 000057679							
IV. RESULTADOS							
ITEM				1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-42399			
CÓDIGO DEL CLIENTE:				RESERVORIO DE AGUA			
COORDENADAS:				NO APLICA			
UTM WGS 84:				NO APLICA			
PRODUCTO:				Agua Natural			
SUB PRODUCTO:				Agua Superficial de Río			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :				15-08-2022 15:30			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	540,0			
Escherichia Coli (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	540,0			
Huevos de Helmintos ²	Huevo/L	NA	1,0	<1,0			
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	1,51			
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	12,0			
<p>(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA</p> <p>² Ensayo acreditado por el IAS</p> <p>L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.</p> <p>L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.</p> <p>NA: No Aplica</p>							

Anexo 7: Decreto Supremo N°004-2017-MINAM
(captura de la página 8)

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales				
Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminetos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
(b): Después de filtración simple.
(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.
Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.