

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



“REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MICROBIANA (Escherichia coli) EN AGUAS DE LA CUENCA BAJA DEL RIO LURÍN MEDIANTE UN PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

FUNES NAVARRO, JULIA ELADISLADA

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico a mis padres, que son mi más grande motivación y quienes nunca dudaron en darme su apoyo y la mejor educación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar presente en todo momento y haberme guiado en el proceso de aprendizaje a lo largo de mi carrera, darme fortaleza en momentos de debilidad y muchas alegrías en esta etapa de mi vida.

Doy gracias a mis padres por confiar en mí y apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por ser parte importante de una excelente educación en el transcurso de mi vida, por continuar brindándome la confianza y darme la oportunidad de tener una formación integral. Sobre todo por mostrarme en ellos un extraordinario ejemplo de vida.

Doy gracias a mis hermanas por ser parte importante de mi vida, mi desarrollo personal y profesional.

Agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mi asesor Agerico Pantoja, por ser parte importante del desarrollo del proyecto de titulación, haber compartido conmigo sus conocimientos y su amistad.

A Jocelyn Gallardo por haber sido una excelente amiga y guía, por motivarme a culminar el desarrollo y compartir conmigo sus conocimientos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I:PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	3
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	4
1.3.1. TEÓRICA.	4
1.3.2. TEMPORAL.	5
1.3.3. ESPACIAL.....	5
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.4.1. PROBLEMA GENERAL.	5
1.4.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	5
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. OBJETIVOS GENERAL.....	5
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO II:MARCO TEORICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES	7
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	7
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	8
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.2.1. CUENCA DEL RIO LURÍN.....	8
2.2.2. CALIDAD DE AGUA DEL RÍO LURÍN.....	10
2.2.3. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA.....	10
2.2.4. MÉTODOS CON OZONO.....	11

2.2.5.	OZONO.....	12
2.2.5.1.	<i>CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL OZONO.....</i>	13
2.2.6.	VENTAJAS DEL USO DE OZONO.....	14
2.2.7.	DESVENTAJAS DEL USO DE OZONO.....	14
2.2.8.	GENERACIÓN DE OZONO	14
2.2.8.1.	<i>GENERACIÓN POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....</i>	14
2.2.8.2.	<i>GENERACIÓN POR ELECTROLISIS.....</i>	15
2.2.8.3.	<i>GENERACIÓN POR DESCARGA ELÉCTRICO O DE CORONA.</i>	15
2.2.9.	OZONIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS.....	16
2.2.10.	IMPORTANCIA DEL OZONO EN LA DESINFECCIÓN AMBIENTAL.....	16
2.2.11.	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	18
2.2.11.1.	<i>DETECCIÓN DE ESCHERICHIA COLI POR EL MÉTODO DE NÚMERO MÁS PROBABLE.</i>	19
2.2.12.	EFFECTO DEL OZONO SOBRE MICROORGANISMOS.....	19
2.2.13.	EFFECTO DEL OZONO SOBRE LOS VIRUS.....	20
2.2.14.	EFFECTO DEL OZONO SOBRE ELEMENTOS INORGÁNICOS.....	20
2.2.15.	EFFECTO DEL OZONO SOBRE ELEMENTOS ORGÁNICOS	20
2.2.16.	EFFECTOS DEL OZONO SOBRE LA TURBIDEZ DEL AGUA	21
2.2.17.	EFFECTOS DEL OZONO SOBRE LOS OLORES, COLORES Y SABORES DEL AGUA	21
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	21
2.3.1.	DESINFECCIÓN DEL AGUA.....	21
2.3.2.	OZONIZACIÓN	22
2.3.3.	SULFATO DE ALUMINIO	22
2.3.4.	COAGULANTES.....	22

2.3.5.	INFLUENCIA DEL PH EN EL PROCESO DE OZONIZACIÓN	23
2.3.6.	GENERADOR DE OZONO	23
2.3.7.	ELEVADOR DE TENSIÓN	24
CAPÍTULO III:DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL..		25
3.1.	MODELO DE SOLUCIÓN PROPUESTO	25
3.1.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	25
3.1.2.	MATERIALES	25
3.1.3.	INSUMOS	25
3.1.4.	EQUIPOS	26
3.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.2.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.2.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
3.2.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	27
3.3.1.	DISEÑO DE MUESTREO	27
3.3.2.	PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRA	29
3.3.3.	CARACTERIZACIÓN DEL RIO LURÍN.....	29
3.3.4.	PREPARACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO	29
3.3.5.	PROCEDIMIENTO CON EL TEST DE JARRAS.....	30
3.3.6.	PROCEDIMIENTO CON EL AGITADOR MAGNÉTICO Y OZONIZACIÓN .	30
3.3.7.	TIEMPO DE TRATAMIENTO.....	31
3.3.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
3.4.	RESULTADOS	32

3.4.1. RESULTADOS FÍSICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE CARACTERIZACIÓN DEL RÍO LURÍN	32
3.4.2. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA A DIFERENTES TRATAMIENTOS.	32
3.4.3. RESULTADOS FÍSICOS DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO	34
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	34
3.5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS	35
3.5.1.1. CANTIDAD DE SULFATO DE ALUMINIO Y CONCENTRACIÓN DE <i>ESCHERICHIA COLI</i>	38
3.5.1.2. TIEMPO DE OZONIZACIÓN Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE <i>ESCHERICHIA COLI</i>	38
3.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	49

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa de la cuenca del río Lurín.</i>	9
Figura 2. <i>Tubo de descarga de corona.</i>	23
Figura 3. <i>Procedimientos de experimentación.</i>	28
Figura 4. <i>Medidas estadísticas.</i>	35
Figura 5. <i>Prueba de hipótesis.</i>	36
Figura 6. <i>Resumen de contraste de hipótesis.</i>	36
Figura 7. <i>Reducción de Escherichia coli.</i>	37
Figura 8. <i>Volumen de Sulfato de Aluminio vs concentración de Escherichia coli.</i>	38
Figura 9. <i>Tiempo de ozonización vs concentración de Escherichia coli.</i>	39
Figura 10. <i>Porcentaje de remoción VS Tiempo de ozonización</i>	39
Figura 11. <i>Estándares de Calidad de Agua VS Resultados de pruebas experimentales.</i>	40
Figura 12. <i>Reconocimiento de la zona</i>	50
Figura 13. <i>Toma de muestra del río Lurín</i>	50
Figura 14. <i>Preparación de coagulante</i>	51
Figura 15. <i>Realización del test de jarras</i>	52
Figura 16. <i>Agitador magnético, multiparámetro y generador de ozono.</i>	53
Figura 17. <i>Proceso de sedimentación</i>	53
Figura 18. <i>Proceso de ozonización</i>	54
Figura 19. <i>Medición de parámetros físico químicos</i>	55
Figura 20. <i>Preparación de muestras finales</i>	55
Figura 21. <i>Estándar de Calidad de Agua Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable...</i>	56
Figura 22. <i>Estándar de Calidad de Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales</i>	57
Figura 23. <i>Parámetros microbiológicos. Estándar de Calidad de Agua Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</i>	58
Figura 24. <i>Parámetros microbiológicos. Estándar de Calidad de Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales</i>	58

Figura 25. <i>Introducción de datos en IBM SPSS Statistics 22</i>	59
Figura 26. <i>Análisis estadísticos por IBM SPSS Statistics 22</i>	60
Figura 27. <i>Cadena de custodia para análisis de calidad de agua</i>	61
Figura 28. <i>Carta de entrega de informe</i>	62
Figura 29. <i>Informe de ensayo</i>	63
Figura 30. <i>Cadena de custodia para tratamientos</i>	65
Figura 31. <i>Carta de entrega de informe</i>	66
Figura 32. <i>Informe de ensayo</i>	67

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. <i>Propiedades del ozono</i>	12
Tabla 2. <i>Potencial redox de los principales oxidantes</i>	13
Tabla 3. <i>Microorganismos patógenos que elimina el ozono</i>	17
Tabla 4. <i>Variables de experimentación</i>	28
Tabla 5. <i>Ubicación de la toma de muestra</i>	29
Tabla 6. <i>Evaluación del caudal</i>	32
Tabla 7. <i>Características del generador de ozono</i>	32
Tabla 8. <i>Resultado de parámetros microbiológicos después del tratamiento</i>	33
Tabla 9. <i>Porcentaje de remoción de Escherichia Coli</i>	33
Tabla 10. <i>Resultados de parámetros fisicoquímicos después del tratamiento</i>	34

INTRODUCCIÓN

El concepto de calidad de agua, abarca más allá del solo consumo humano, este concepto se ha extendido a distintos usos y aplicaciones del recurso hídrico. La calidad del recurso hídrico depende de diversos factores, como procesos geomorfológicos, ciclo hidrológico, elementos físicos, químicos y biológicos de carácter natural, así también actividades poblacionales y productivas que alteran su composición natural. Todas influyen de forma directa con la capacidad de autodepuración y dilución del agua superficial. (Gamboa, 2018, pág. 1)

En la actualidad las condiciones desfavorables en las que se encuentra el agua en estado natural limitan su uso por los seres humanos, debido a que el empleo de esta es capaz de perjudicar la salud de quienes la consumen. Debido a su importancia y vitalidad para los organismos vivos, el agua debe ser sometida a procesos de purificación con los cuales se llega a eliminar las impurezas que atentan contra la vida del consumidor. (Cáceres, 2018, pág. 1)

La cuenca del río Lurín es una de las más pobladas de Perú y una de las principales fuentes de agua para la ciudad de Lima. La cuenca presenta índices de pobreza superiores al resto de cuencas del departamento de Lima, principalmente en su tramo bajo, donde el río se encuentra sometido a la extracción de recursos hídricos, descarga de aguas residuales urbanas (tratadas y sin tratar), disposición de basuras, drenajes agrícolas, así como al desarrollo industrial en general y la minería en particular; provocando escasez de agua y deterioro de su calidad. (Momb Blanch, et al., 2015)

En la cuenca del río Lurín, la agricultura, la ganadería y los asentamientos humanos alteran los ecosistemas terrestres y acuáticos, perjudicando a los organismos que brindan servicios eco sistémicos. Las alteraciones físicas, químicas y biológicas cambian las respuestas y el comportamiento de los organismos. Su observación es propicia para la determinación de la calidad de agua y las fuentes de contaminación. (Francisco, Iparraguirre, Guzmán, Gómez, & Quiquia, 2017)

El presente proyecto se ha concentrado en el análisis de la cuenca baja del río Lurín debido a que en esta se concentra la mayor parte del uso del agua; pretende analizar la calidad del agua y reducir la concentración microbiana (*Escherichia Coli*) en la cuenca baja del río Lurín mediante un proceso de oxidación avanzada.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Los principales contaminantes de las aguas superficiales son aquellos que provienen del alcantarillado de los asentamientos urbanos, ya que muchos países no les dan ningún tratamiento y son vertidos directamente a las fuentes de agua más cercanas, generando su deterioro (Hancox, 2011, pág. 2).

En el 2011, menos del 15.6% de las aguas urbanas fue tratada. El principal origen de la contaminación en aguas superficiales está relacionado con las actividades de minería formal e informal, pasivos mineros, residuos de agroquímicos, vertimientos legales e ilegales de desagüe doméstico e industrial, arrojamiento de desmonte y residuos sólidos (Fundación Futuro Latinoamericano (FFLA), 2015, pág. 31).

La presencia de bacterias, parásitos, virus y hongos en el agua surge usualmente por efecto directo o indirecto de cambios en el ambiente y en la población, como urbanización no controlada, crecimiento industrial, pobreza y disposición inadecuada de excretas humanas y animales; estos cambios se reflejan en el entorno; por tanto, en el recurso hídrico (Ríos, Aguedo, & Gutiérrez, 2017, pág. 237).

La falta de seguridad y garantías para la inocuidad, calidad, manejo y tratamiento de los recursos hídricos hace que todas las comunidades que están haciendo uso de estos, queden expuestas a riesgos de brote de enfermedades y contaminantes relacionados con el agua (Ríos, Aguedo, & Gutiérrez, 2017, pág. 237).

En el Perú se realiza una depuración deficiente de agentes contaminantes, utilizando una mezcla de tratamiento primario y secundario que muchas veces no cumple con los objetivos planteados. Y ello se agrega la poca proporción de aguas tratadas, así como la cantidad de desechos sin tratar que se vierten de manera irracional a los ríos (Jímenez, 2011, parr. 5).

Según los resultados obtenidos del Segundo Monitoreo de Calidad de Agua en la cuenca del río Lurín, realizado durante el 2014, las concentraciones de Coliformes

Totales y *Escherichia coli* exceden los Estándares de Calidad de Agua, parámetros relacionados a las descargas de origen domésticos.

Tres de los principales problemas que afectan a la Cuenca del Río Lurín son:

- Uso ineficiente del agua para riego y para uso poblacional.
- Contaminación creciente del agua, con el incremento de la actividad agrícola y expansión urbana.
- Falta de conciencia ambiental para el buen uso del agua y en general de los recursos de cuenca (Morales, 2012, pág. 14).

Uno de los principales desafíos en la actualidad es la aplicación de tecnologías que muestren efectividad en la reducción de contaminación en las aguas superficiales, puesto que en la actualidad existen diferentes métodos de remoción; sin embargo, estos no pueden ser aplicados de forma general, sino específica para la realidad del agua en observación.

1.2. Justificación del Problema

La presente investigación se enfoca en análisis de las condiciones óptimas para la desinfección y reducción de carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la cuenca baja del río Lurín, mediante un proceso de oxidación avanzada, ya que en la actualidad la calidad de sus aguas es crítica, debido al insuficiente tratamiento de aguas residuales domésticas, vertimiento de aguas residuales no tratadas y manejo inadecuado de residuos sólidos, poniendo en riesgo la salud humana y ambiental.

1.3. Delimitación del Proyecto

1.3.1. Teórica.

El proyecto se encuentra enmarcado en el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de aguas, aplicando los siguientes conceptos:

- Proceso de oxidación avanzada
- Concentración microbiana (*Escherichia coli*)

- Cuenca del río Lurín

1.3.2. Temporal.

El desarrollo del presente proyecto fue llevado a cabo durante los meses de febrero y marzo del presente año.

1.3.3. Espacial.

La delimitación espacial de la investigación se circunscribe en el ámbito del laboratorio, para lo cual se eligió los laboratorios de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur para su desarrollo, así también se tomaron las muestras de agua superficial del río Lurín, las cuales fueron analizadas y sometidas a su posterior tratamiento.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General.

- ¿En qué medida reduce la carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la Cuenca Baja del río Lurín, mediante un proceso de oxidación avanzada?

1.4.2. Problemas Específicos.

- ¿Cuál es el tiempo de ozonización óptimo para la reducción de carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la Cuenca baja del río Lurín?
- ¿Cuál es el volumen de Sulfato de Aluminio al 1% óptimo para la reducción de carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la Cuenca baja del río Lurín?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivos General

Reducir la carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la Cuenca Baja del río Lurín, mediante un proceso de oxidación avanzada.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el tiempo de ozonización óptimo para la reducción de carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la Cuenca baja del río Lurín.
- Determinar el volumen de Sulfato de aluminio a 1% para la reducción de carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la Cuenca baja del río Lurín.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

El ozono fue utilizado por primera vez para el tratamiento de agua potable en 1893 en los Países Bajos. Actualmente, la ozonización es una técnica de oxidación química con una gran variedad de aplicaciones, que incluye: desinfección, oxidación de microcontaminantes orgánicos recalcitrantes (fármacos, pesticidas, contaminantes fenólicos, etc.), oxidación de contaminantes inorgánicos, como hierro, manganeso, sulfitos, eliminación de color y sabor (Chiva, Berlanga, Martínez, & Climent, 2017, pág. 89).

Girgin, Barisci, & Turkay (2018), en Mecanismos de inactivación de *Escherichia coli* y *Enterococcus faecales* por ozono; utilizo 1mg/l de agua ozonizada con tiempos de contacto de 30 s, 1, 5, 10 y 20 min, para la inactivacion bacteriana de *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*. Los resultados de la investigacion demostraron que la actividad de la bacteria *Enterococcus faecales* se inactivo de 30 s de tratamiento mientras que para la bacteria *E. faecales* fue mas alta que para la bacteria *E. Coli*.

Mohammad, Kalnasi, Riskowski, & Castillo (2018), realizo la investigación: Reducción de *Salmonella* y *Escherichia coli* productora de toxina Shiga en semillas y brotes de alfalfa utilizando un sistema generador de ozono; en la cual realizó ensayos utilizando tiempos de exposición a ozono (5mg/L) de 10, 15 y 20 minutos, en semillas y brotes de alfalfa, con una concentración inicial de 7.0 log CFU/ml en *E. coli*, durante 10, 15 y 20min respectivamente. Este estudio confirmó que es posible reducir sustancialmente la *Salmonella* y *Escherichia coli* utilizando una concentración baja de ozono (5mg/L).

Gordillo (2013); en Investigación Técnica Económica sobre la desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación, afirma que el ozono reacciona rapidamente frente a patógenos y su poder biocida se debe al poder oxidante

caracterizado por su potencial de óxido reducción elevado. Por otro lado, afirma que los flóculos de sulfato de aluminio no afectan la eficacia del ozono y el tiempo de contacto para la desinfección de *Escherichia coli* con ozono es de 10 min con un porcentaje de reducción mayor del 99%. Así también realizó pruebas experimentales en aguas de río, donde aplicó dosis de ozono (0.6 mg/L) y determinó que el efecto para desinfección de *Escherichia coli* es de 4 min, sin rebrote.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Jingquan (2014), en su estudio Generalidad y generación electroquímica de ozono, demostró la efectividad del ozono para la desinfección de microorganismos, concluyendo que con una producción de ozono de 300 mg/h existe mayor desinfección en menos tiempo de exposición (40 min).

Camarena (2013), en Aislamiento y determinación de la cinética de inactivación de la *Escherichia coli* con ozono a nivel de laboratorio, estudió el efecto de concentraciones de ozono en la inactivación de *Escherichia coli* y concluye que la concentración de 0,700 mg/l es efectiva para la inactivación de la bacteria.

Carhuayo (2011), donde evaluó la eficacia antibacteriana del hipoclorito de sodio al 1% y del agua ozonizada 20 mg/L, concluyendo que el NaCl en un promedio de 24 y 48 horas no permite el crecimiento de cepas de *Enterococcus fecalis*, mientras que en agua ozonizada se obtiene un promedio de 3.49×10^6 UFC cepas de *Enterococcus fecalis* en tiempos de 24 a 48 horas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Cuenca del río Lurín.

La cuenca del río Lurín está ubicada al sur de Lima; la parte alta y media pertenecen a la provincia de Huarochirí y la parte baja corresponde a Lima Metropolitana. Tiene una extensión superficial de 1.719,96 km² y una longitud de 106 km. El valle bajo es considerado el último “pulmón verde” de la ciudad

de Lima, además de ser un importante fuente de alimentos. (Fundacion Futuro Latinoamericano (FFLA), 2015, pág. 23).

Así mismo “a lo largo de la cuenca se evidencian, zonas arqueológicas, áreas agrícolas, sistemas de andenes, así como sistemas de siembra y cosecha (amunas)” (Fundacion Futuro Latinoamericano (FFLA), 2015, pág. 23). Además la cuenca presenta índices de pobreza superiores al resto de las cuencas de la vertiente del departamento de Lima. En su tramo bajo, el río está sometido a presiones derivadas de la extracción de recursos hídricos, a la descarga de aguas residuales urbanas (tratadas y sin tratar) disposición de basuras, drenajes agrícolas, así como al desarrollo industrial y la minería. Todo ello provoca una creciente escasez de agua y el deterioro de su calidad, lo cual genera el deterioro de los ecosistemas acuáticos (Momb Blanch et al., 2015).

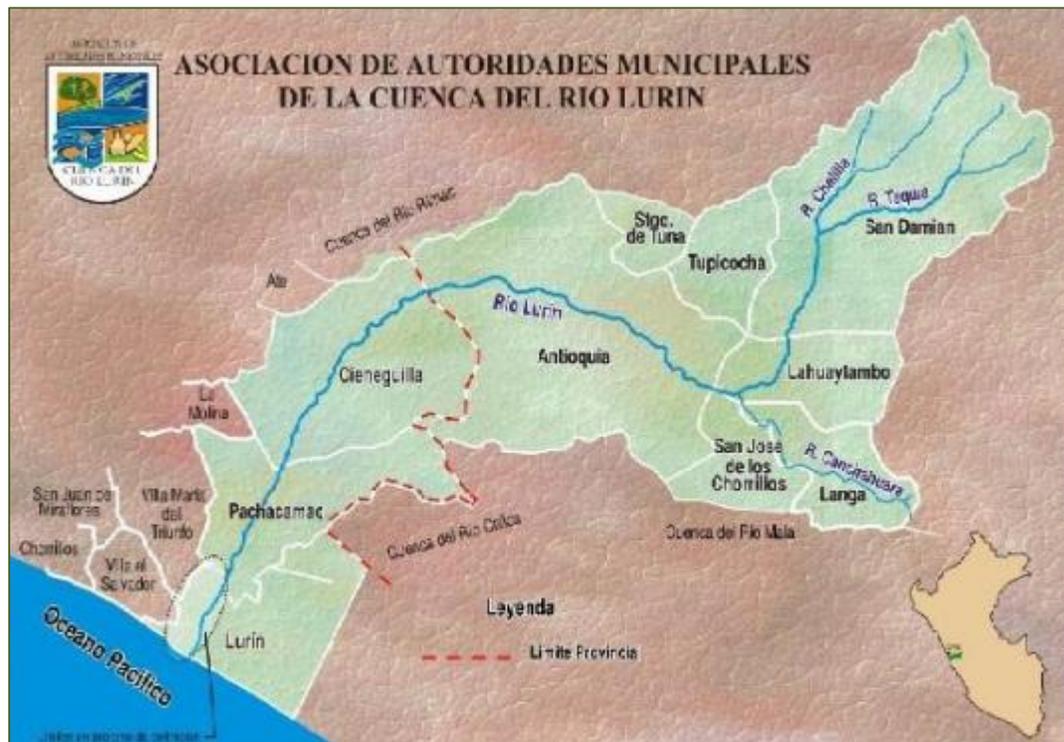


Figura 1. Mapa de la cuenca del río Lurín. Recuperado de “Monitoreo de los sectores críticos de la cuenca del río Lurín y la reducción de riesgos en el ámbito del gobierno metropolitano”, de Sugerencia de defensa Civil, 2013, pág. 2, Lima, Perú

2.2.2. Calidad de agua del río Lurín

Se han identificado como contaminantes prioritarios los Coliformes de origen humano y animal, ya que pueden generar problemas de insalubridad del agua para consumo directo, de los productos agrícolas cultivados en la zona y de las zonas de baño en las playas ubicadas cerca de la desembocadura del río (Momb Blanch et al., 2015).

El estado de la calidad del agua superficial en el ámbito de la cuenca del río Lurín, en base a los resultados de calidad de agua, determinado por la Autoridad Nacional del agua en el 2014 establece que: la calidad de agua a lo largo del río Lurín es de naturaleza básica, presentando valores de pH que exceden los ECA- Agua Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” fluctúan en el rango 8.10 y 9.03. Asimismo, los parámetros microbiológicos como Coliformes Termotolerantes y E. Coli exceden también los Estándares de Calidad de Agua, encontrándose los índices más altos de afectación en la cuenca baja del río.

2.2.3. Procesos de oxidación avanzada

Son procesos en los cuales se generan radicales, principalmente (OH) que es oxidante, con un potencial de oxidación de 2.8 V, mucho mayor que el ozono (2.07 V), hidróxido de hidrógeno (1.78 V), dióxido de cloro (1.57 V), cloro (1.36 V), potenciales redox con referencia al electrodo normal de hidrógeno. Los radicales OH al ser oxidantes muy energéticos, son capaces de oxidar compuestos orgánicos principalmente por abstracción de hidrógeno o por adición electrofílica a dobles enlaces generándose radicales libres. Estos radicales reaccionan con moléculas de oxígeno formando un peroxirradical, iniciándose reacciones de degradación oxidativa que pueden llevar a la total de mineralización, es decir, la transformación completa de la materia orgánica en CO₂, agua e iones inorgánicos (Cadavid, 2011, pág. 15).

Sus características más importantes son:

- Capacidad para hacer cambios en la estructura química de los compuestos orgánicos en algunos casos hasta dióxido de carbono.
- Proceso no selectivo por parte del radical hidroxilo, se aumenta la oxidación de subproductos potencialmente tóxicos procedentes de contextos originales que por otros métodos no se podrían destruir si no después de un proceso prolongado (Cadavid, 2011, pág. 16).

Entre los procesos de oxidación avanzada se pueden mencionar procesos no fotoquímicos tales como: ozonización en medio alcalino, ozonización con peróxido de hidrogeno, proceso Fenton, oxidación electroquímica, radio lisis, tratamiento con haces de electrones, plasma no térmico, ultrasonido y procesos fotoquímicos en los que se encuentran: oxidación en agua, fotolisis de agua en ultravioleta de vacío, ultravioleta y peróxido de hidrógeno, ultravioleta y ozono, foto-fenton, fotocatalisis heterogénea. (Cadavid, 2011, pág. 16).

2.2.4. Métodos con ozono.

El ozono es uno de los agentes más oxidantes para la eliminación de sustancias químicas además del oxígeno puro y el aire; es selectivo y afecta a grupos funcionales ricos en electrones, capaz de producir radicales oxidantes en aguas residuales, ya que reacciona de forma directa con un sustrato orgánico por medio de una reacción lenta y selectiva, o una reacción en medio alcalino, rápida y no selectiva. Los radicales pueden formarse por la reacción del ozono con los iones de hidróxido, además, estos se forman como producto secundario de la reacción del ozono con la materia orgánica (Pelayo, 2018, págs. 13, 14).

2.2.5. Ozono.

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, el cual está conformado por tres átomos de oxígeno (O₃) y es soluble en agua; sin embargo, es difícil obtener una concentración mayor por miligramos en condiciones normales de temperatura y presión (Cáceres, 2018, pág. 11).

El ozono tiene menos estabilidad que el oxígeno diatómico (O₂), color azul pálido y elevado potencial de oxidación, detectable aproximadamente a 0.01 ppm en el aire debido a su aroma característico similar al blanqueador de cloro, exposiciones mayor de 0.1 a 1 ppm generan dolores de cabeza, ardor en los ojos y vías respiratorias (Chiva, Berlanga, Martínez, & Climent, 2017, pág. 90).

Tabla 1.

Propiedades del ozono

Formula molecular	O ₃
Peso molecular (g.mol ⁻¹)	47.998
Densidad (g/L)	2.144
Temperatura de fusión (°C)	-192.5
Temperatura de ebullición (°C)	-111.9
Solubilidad en agua	0.0105

Nota: Recuperado de "Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua" por Chiva S., Berlanga J.G., Martínez R., Climent J., 2017, Publicaciones de la Universitat Jaume I.

Tabla 2.*Potencial redox de los principales oxidantes*

Especie	E₀(V)	E₀/E₀ (Cl₂)
Flúor	3.06	2.25
Radical Hidroxilo	2.80	2.05
Átomo de Oxígeno	2.42	1.78
Ozono	2.08	1.52
Peróxido de Hidrógeno	1.78	1.30
Permanganato de Potasio	1.70	1.25
ÁCIDO Hipocloroso	1.49	1.10
Cloro	1.36	1
Dióxido de Cloro	1.27	0.93
Oxígeno	1.23	0.90

Nota: Recuperado de "Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua" por Chiva S., Berlanga J.G., Martínez R., Climent J., 2017, Publicaciones de la Universitat Jaume I.

2.2.5.1. Características fisicoquímicas del ozono.

Las cualidades del ozono se deben a las fuerzas de atracción entre átomos (enlace covalente), lo cual hace a la molécula inestable. La inestabilidad aumenta con la temperatura y presión, llegando a más de 200°C. Debido a su inestabilidad la molécula de ozono posee la característica de ser oxidante, ya que fácilmente cede uno de sus átomos a otros compuestos, oxidándolos; característica por la cual es usado como desinfectante y germicida (Cáceres, 2018, pág. 10).

La reacción del ozono en el agua, se realiza bajo dos mecanismos: primero en forma directa debido a su triple valencia, que le da la capacidad de oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos; el segundo, por la formación de ion hidroxilo, agente oxidante de mayor poder (Cáceres, 2018, pág. 11).

2.2.6. Ventajas del uso de ozono.

- Posee alto poder de oxidación y requiere corto tiempo de reacción.
- Oxigena el agua de forma posterior al tratamiento
- Oxida el hierro y el manganeso, o los sulfuros
- Elimina y destruye algas y bacterias
- Desaparece rápidamente del agua
- Requiere poco espacio
- Elimina olores desagradables

2.2.7. Desventajas del uso de ozono.

- Alto coste
- Puede formar subproductos perjudiciales, tales como bromatos y aldehídos
- Puede formar óxido nítrico o ácido nítrico, que causan corrosión en los equipos
- No mantiene una concentración residual persistente, por lo que puede requerir una post- cloración, para precisar desinfección.

2.2.8. Generación de ozono

Para la generación de ozono se debe suministrar energía suficiente a la molécula de oxígeno, para asegurar la disociación y formación de radicales libres de oxígeno, de esta forma se garantiza una reacción entre una molécula y un átomo de oxígeno (Cáceres, 2018, pág. 12)

Existen tres categorías según se utilice: la descarga de corona, la descarga electroquímica y los métodos UV.

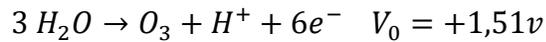
2.2.8.1. Generación por radiación ultravioleta.

El ozono se genera de forma natural en la estratosfera por acción de la luz ultravioleta (UV) o por descargas eléctricas. Se forma por la ruptura y asociación de las moléculas de oxígeno a causa de los rayos UV del sol (Camarena, 2013, pág. 2).

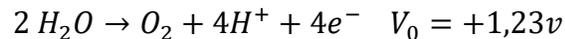
2.2.8.2. Generación por electrolisis.

(Camarena, 2013, pág. 2): El proceso electrolítico se compone de las siguientes reacciones:

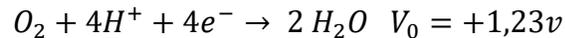
En el ánodo:



E, inevitablemente pero no deseada:



En el cátodo:

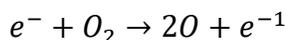


2.2.8.3. Generación por descarga eléctrico o de corona.

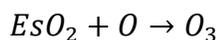
El método de descarga de corona consiste en pasar de oxígeno entre dos electrodos separados por un material dieléctrico, por lo general de vidrio. Los electrodos están conectados a fuente de alta tensión capaz de generar una descarga y el oxígeno se convierte en ozono a su paso entre ellos. En una primera etapa, el oxígeno se divide y posteriormente se combinan con otras moléculas de oxígeno restantes para formar la molécula de ozono (Chiva, Berlanga, Martínez, & Climent, 2017, pág. 91).

La descarga eléctrica o efecto corona se debe a la saturación de cargas eléctricas en los conductores (electrodos); cuando se origina esta condición, el aire circundante se vuelve ligeramente conductor y las cargas eléctricas escapan produciendo un sonido y luz característico (Cáceres, 2018, pág. 13).

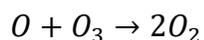
La corona (electrodos), puede ser de dos tipos: tubos concéntricos o placas planas paralelas, entre los cuales se emplea una diferencia de potencial elevada. El mecanismo de formación de ozono en la corona se fundamenta en la disociación de una molécula de oxígeno (Camarena, 2013, pág. 3).



Este oxígeno atómico reacciona con una nueva molécula de oxígeno para dar ozono:



Así mismo, tanto el oxígeno atómico como los electrones pueden reaccionar con el ozono y descomponerlo:



2.2.9. Ozonización en el tratamiento de aguas.

La proceso de aplicación de ozono en el tratamiento de aguas es más empleado en su desinfección ya que el ozono más eficiente que el cloro en la eliminación o inactivación de todo tipo de microorganismos (bacterias, virus y protozoos) (Camarena, 2013, pág. 7).

Entre las ventajas de la aplicación de ozono en el tratamiento de aguas se puede resaltar, la oxidación de la materia orgánica en sus múltiples facetas nocivas o simplemente molestas, oxidación de inorgánicos contaminantes, control organoléptico, turbiedad, protección contra algas y otros (Camarena, 2013, pág. 7).

2.2.10. Importancia del ozono en la desinfección ambiental.

El ozono (O₃), por las características que presenta tiene una amplia gama de aplicaciones, entre las cuales destaca su destinación a la industria, tratamientos terapéuticos y descontaminación del ambiente (desinfección del agua y aire, descontaminación de aguas servidas, desodorización del aire, etc.) (Jingquan, 2014, pág. 21).

Una de sus aplicaciones es la desinfección de aguas tratadas biológicamente o después de un tratamiento secundario. Elimina virus, disminuye el color, la

demanda química de oxígeno y la turbiedad, así también sólidos suspendidos por un proceso de flotación incluido (Camarena, 2013, pág. 8).

Acción desodorizante: trata de la destrucción química de los compuestos causantes del mal olor.

Acción bactericida: en la Tabla 3, se muestra la acción bactericida del ozono, los microorganismos que elimina y la dosis letal.

Tabla 3.

Microorganismos patógenos que elimina el ozono

Patógeno	Dosis de ozono
<i>Aspergillus níger</i>	destrucción con 1.5 a 2 mg/l
<i>Bacillus bacteria</i>	destrucción con 0.2 m/l en 30segundos destrucción de 99% después de 5 min con 0.12
<i>Bacillus cerecus</i>	mg/l en agua destrucción de 99.99% a 0.41 mg/l por 10s en
<i>Bacteriophage f2</i>	agua
<i>Botrytis cinérea</i>	3.8 mg/l por 2minutos
<i>Clavibacter michiganense</i>	destrucción del 99.99% a 1.1 mg/l por 5 minutos
<i>Cladosporium</i>	reducción 90% a 0.10 ppm por 12.1 minutos
<i>Clostridium bacteria</i>	susceptible al ozono
<i>Streptococcus bacteria</i>	destrucción con 0.2 mg/l en 30 s destrucción del 99.99% a 1.1 mg/l por 20
<i>Verticillium dahlie</i>	minutos
<i>Vesiicular viruss</i>	destrucción total en 30 s con 0.1 a 0.8 mg/l
<i>Virbrio cholera bacteria</i>	susceptible al ozono

Nota: Recuperado de “Generalidad y generación electroquímica de ozono” por Jingquan L., 2014, Universidad Nacional de Ingeniería, p. 22.

2.2.11. *Escherichia coli*

Las bacterias *Escherichia coli* pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y son la especie más predominante dentro del grupo de Coliformes termo tolerantes. Son bacilos cortos, gram negativos, quimioheterotrofos, anaerobios facultativos, capaces de fermentar la lactosa, de rápido crecimiento y amplia distribución en el agua, suelo, vegetales y animales; se localizan en el intestino delgado de animales y humanos (Camarena, 2013, pág. 9).

Las bacterias *Escherichia coli*, al ser parte del grupo predominante de Coliformes, se diferencian de otro tipo de bacterias termotolerantes (*Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, etc) por su capacidad para producir indol a partir del triptófano o por la producción de la enzima glucuronidasa (World Health Organization, 2017, pág. 240).

La bacteria *Escherichia coli* se puede utilizar como indicador para la detección y medición de contaminación fecal en agua y alimentos. Por lo general la bacteria constituye el 1% de la población microbiana del tracto gastrointestinal; sin embargo, algunas son patógenas y pueden contaminar los alimentos, agua y el ambiente (Franco, Ramírez, Orozco, & López, 2013, pág. 92).

Al ser un patógeno entérico, el cual es la causa principal de diarrea, ha producido la muerte de aproximadamente un millón de niños por año. Sus síntomas se presentan cuando colonizan por medio de sus pilis o fimbrias la mucosa del intestino delgado. Reportado cuadros clínicos de síndrome urémico hemolítico por cepas de E. Coli productoras de toxina shiga, así como diarrea acuosa, principal causa de muerte en niños a nivel mundial (Toledo, y otros, 2015, pág. 36).

2.2.11.1. Detección de *Escherichia coli* por el método de número más probable.

La determinación de microorganismos Coliformes fecales por el método de Numero más Probable (NMP), consiste en la capacidad de estos microorganismos a fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas utilizando un medio de cultivo con sales biliares. Esta determinación tiene dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa (Camarena, 2013, pág. 9).

En la fase presuntiva el medio de cultivo que se utiliza es el lauril sulfato de sodio el cual permite la recuperación de los microorganismos presentes en la muestra y que sean capaces de utilizar la lactosa como fuente de carbono. Durante la fase confirmativa se emplea como medio de cultivo caldo lactosado bilis verde brillante el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar las sales biliares como el verde brillante (Camarena, 2013, pág. 9).

La determinación del número más probable de microorganismos Coliformes fecales se realiza a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva. La determinación de *Escherichia coli* se realiza a partir de tubos positivos en caldo EC, los cuales se siembran en medios selectivos y diferenciales (Camarena, 2013, pág. 10).

2.2.12. Efecto del ozono sobre microorganismos

El ozono inactiva microorganismos rompiendo por oxidación los lípidos de la membrana, en comparación con los productos químicos quienes actúan por envenenamiento enzimático de los centros vitales, por lo que el ozono es más rápido y efectivo que los agentes químicos (Cáceres, 2018, pág. 13).

El ozono reacciona con los compuestos presentes en la membrana celular, por lo general compuestos lipídicos que presentan dobles enlaces, generando otros compuestos que presentan actividad antimicrobiana. Es decir que los

subproductos que son obtenidos de la reacción inicial también presentan actividad antimicrobiana, ya que son especies oxidantes, aldehídos y otros compuestos, capaces de reaccionar con elementos celulares presentes en la membrana; de esta manera generar una reacción en cadena que termina con la fluidez de la membrana y la afectación de las proteínas presentes (Fernández, 2012, pág. 1).

La inactivación con ozono es conocida como una reacción de oxidación, y ataca la membrana través de las glicoproteínas o glicolípidos o a través de los aminoácidos. También rompe la actividad enzimática, ya que actúa sobre los grupos sulfhídricos de ciertas enzimas, evitando que estas degraden azúcares y produzcan gases. Así la muerte de las bacterias es debida a cambios de permeabilidad celular y lisis celular (Cáceres, 2018, pág. 14).

2.2.13. Efecto del ozono sobre los virus

El objetivo del ozono en la inactivación de virus, es la destrucción de la cápside, la cual será destruida siempre que las concentraciones de ozono sean elevadas. De esta forma el ácido nucleico es liberado desprotegido, por lo cual será degradado por el ozono (Sanchez, 2014, pág. 16).

2.2.14. Efecto del ozono sobre elementos inorgánicos

En el caso de elementos inorgánicos como el hierro, el manganeso y otros compuestos, la aplicación de ozono y su posterior oxidación, ocurre de manera rápida, transformándolos a compuestos insolubles que se pueden retirar por medio de filtros de carbón activado (Sanchez, 2014, pág. 17).

2.2.15. Efecto del ozono sobre elementos orgánicos

Algunos materiales orgánicos reaccionan con ozono de forma rápida, otros son destruidos en minutos como el fenol y ácido fórmico; algunos reaccionan lentamente como el caso de pesticidas y el tricloroetano. Los materiales que son oxidados parcialmente generan materiales insolubles que se pueden quitar fácilmente con filtros. (Sanchez, 2014, pág. 18)

2.2.16. Efectos del ozono sobre la turbidez del agua

La turbidez se elimina por oxidación química y neutralización de carga; ya que las partículas coloidales que se mantienen en suspensión por partículas de carga negativas son neutralizadas por el ozono. Además el ozono destruye los materiales coloidales por medio de la oxidación de materias orgánicas (Sanchez, 2014, pág. 18).

2.2.17. Efectos del ozono sobre los olores, colores y sabores del agua

La oxidación de materia orgánica, metales pesados, sulfuros y otras sustancias presentes en el agua, por acción del ozono, suprime el olor y sabores extraños, mejorando su aspecto y calidad, haciendo que esta sea más adecuada para su consumo por humanos y animales (Sanchez, 2014, pág. 18).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Desinfección del agua

Desinfección de las aguas significa extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que en ella se desarrollan. Su destrucción y desactivación evita su reproducción y crecimiento (Cáceres, 2018). Además de matar bacterias y virus también tiene el objetivo de separar los sólidos suspendidos en el agua que no pudieron ser removidos durante los tratamientos primarios, secundarios y terciarios (Sanchez, 2014, pág. 12).

La desinfección es el último proceso unitario del tratamiento del agua y su objetivo es garantizar su calidad de tal forma que sea inocua para la salud de los consumidores. Puede producirse mediante la aplicación de agentes o procesos físicos y químicos (Merma & Vara, 2015, pág. 24).

2.3.2. Ozonización

En este proceso se aplica ozono, el cual es un oxidante potente, utilizado en el tratamiento de aguas como desinfectante, su eficacia se basa en obtener la concentración deseada después de un determinado tiempo de contacto. Por lo general para evitar el crecimiento bacteriano indeseable en la distribución, la ozonización se complementa con un tratamiento posterior como la filtración biológica o el carbón activado (World Health Organization, 2017, pág. 486).

2.3.3. Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ es un coagulante comercial que se obtiene de la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico. Es usado en el tratamiento de aguas como clarificador, cuando se añade al agua se disocia en Al^{+3} y SO_4 . (Galindo, 2018, pág. 55)

Su rango óptimo de pH varía entre 5.5 y 8.0 unidades de pH, por ello no requiere de actividades para conseguir un ajuste de pH, disminuyendo costos de operación. La dosis de Sulfato de aluminio usada para aguas superficiales varía de 5 a 50 mg/L (Barajas & Andrea, 2015, pág. 24).

2.3.4. Coagulantes

Son aquellos compuestos de hierro y aluminio capaces de formar un floc y efectúan coagulación al ser añadidos al agua. Los productos normalmente utilizados son alúmina (sulfato de aluminio), cloruro férrico, aluminato de sodio, sulfato ferroso y cal. Siendo la alúmina de uso más extendido (Galindo, 2018, pág. 39).

Se pueden clasificar en dos grupos: los poli electrolíticos y metálicos. En los primeros, las cadenas poliméricas están formadas y en los coagulantes metálicos la polimeración se inicia cuando se ponen en contacto con el agua. Cabe detallar que la velocidad de sedimentación de las partículas no depende en forma exclusiva de los coagulantes sino del peso de las partículas (Galindo, 2018, pág. 40).

2.3.5. Influencia del pH en el proceso de ozonización

El potencial de hidrogeno (pH) es definido como el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones (H⁺), el intervalo de la concentración para la proliferación y adecuado para el desarrollo de la vida acuática es de 6.5 a 8.0 (Corporacion autonoma regional de Tolima, 2004, pág. 773).

El aumento del pH, aumenta la velocidad de descomposición del ozono bajo formas de especies oxidantes que tienen reactividades diferentes con los microorganismos. Se puede decir que a pH básico la descomposición del ozono es más elevada que a un pH ácido (OZOGAS, 2002, pág. 9).

2.3.6. Generador de ozono

La producción de ozono consiste en: un tubo dieléctrico por el que pasa el oxígeno, este recibe una descarga eléctrica, lo cual provoca la transformación de la molécula de oxígeno proveniente del aire, en una molécula de ozono. El generador de ozono consta de un transformador, un elevador de tensión y un reactor de ozono (Moreno, 2011, pág. 36).

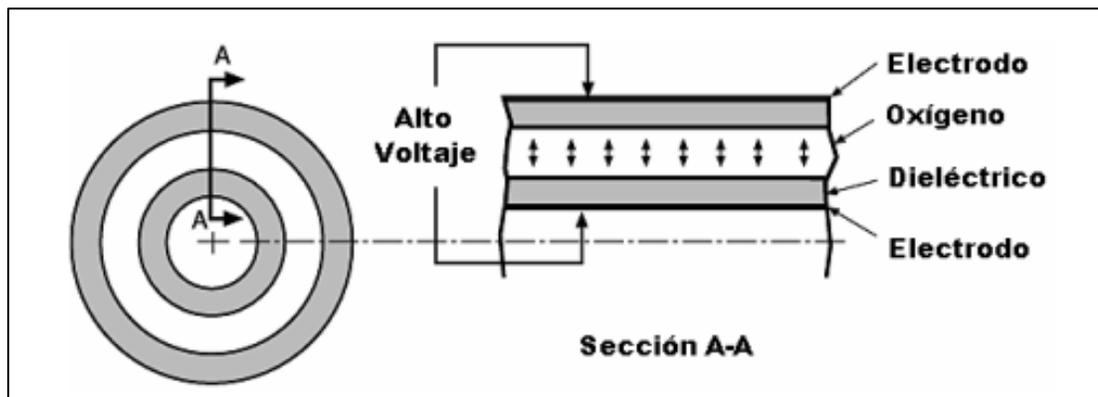


Figura 2. *Tubo de descarga de corona. Recuperado de “Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones médicas por tecnología de efecto corona y UV”, de Moreno, M.D, 2011, p. 36, México D.F, México.*

2.3.7. Elevador de tensión

Un elevador de tensión, es un transformador de voltaje de 220V a 5000 V a fin de propiciar altas cargas eléctricas y el rompimiento de las moléculas de oxígeno. Por su exposición a alto voltaje, está hecho con hilo de cobre, cubierto de material resistente a alta tensión (Campana, 2003, pág. 19).

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Modelo de solución propuesto

3.1.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en laboratorios de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. La toma de muestra se realizó en la cuenta baja del río Lurín, coordenadas (8642865 N, 293280 E), a la altura de la carretera Panamericana Sur. Las pruebas microbiológicas se ejecutaron en el laboratorio: R-LAB S.A.C.

3.1.2. Materiales

- Envases de plástico de 100 mL de capacidad.
- Galoneras de 20 L
- Guantes de látex
- Mascarillas
- Jarra de plástico de 500 mL
- Vasos precipitado de 1000 mL
- Botellas de plástico de 1000L
- Beakers
- Fiola 100mL
- Luna de reloj
- Cucharillas
- Pipetas
- Probetas
- Auxiliar de pipeta
- Papel tisú

3.1.3. Insumos

- Agua destilada
- Alcohol

- Sulfato de Aluminio

3.1.4. Equipos

- Multiparámetro
- Test de Jarras
- Balanza analítica Rango (0.001-100.000)
- Equipo ozonizador
- Agitador magnético

3.2. Diseño de investigación

3.2.1. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación planteado es experimental. Según Carrasco (2006) en el diseño experimental se manipulan una o varias variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes.

3.2.2. Tipo de investigación

La investigación se de tipo aplicada. Según Carrasco (2006), la investigación aplicada tiene propósitos prácticos bien definidos, para actuar, transformar o producir cambios en un determinado sector de la realidad, con un margen limitado.

3.2.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es experimental. Según Carrasco (2006), en el nivel experimental se aplica un nuevo sistema, modelo, tratamiento, programa, método o técnicas para mejorar y corregir la situación problemática, que ha dado origen al estudio de investigación. Para ello se conocen los factores que han dado origen al problema y se les puede dar un tratamiento metodológico.

3.3. Metodología experimental

La presente investigación se inició con la toma de muestra, la cual se realizó en la cuenca baja del río Lurín, el transporte de las muestras se realizó según los protocolos de laboratorio R-LAB S.A.C., cumpliendo con las medidas necesarias para su conservación dentro de un cooler a una temperatura de refrigeración de 4°C.

El recojo de muestras de agua de río ha tenido en consideración el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”, dicho protocolo ha sido elaborado por la Autoridad Nacional del Agua, el cual contempla las pautas fundamentales para la toma de muestras.

Luego se procedió a sacar 12 litros de agua para someter a tratamiento, las cuales fueron llevadas al laboratorio R-LAB S.A.C para la determinación de la nueva concentración de *Escherichia coli*.

Para realizar la investigación, se realizaron 9 pruebas y se tomaron 1200 ml de muestra por prueba. Después de la obtención de los resultados se procedió a realizar un análisis en base a la prueba estadística de Wilcoxon para datos pareados.

3.3.1. Diseño de muestreo

Para el análisis estadístico se usó el programa IBM SPSS Statistics 22, para ello se realizaron una serie de pruebas involucrando los factores principales del proceso de tratamiento; las variables de operación que se modificaron fueron tiempo de ozonización y volumen de Sulfato de Aluminio 1%, con el objetivo de establecer influencias en los procesos ensayados. Se realizaron 9 pruebas con distintas variables de operación. En la Figura 3, se muestran los pasos a seguir: toma de muestra, caracterización, tratamientos (coagulación, ozonización), finalmente la evaluación de parámetros in situ (pH, Conductividad, T°); posteriormente se llevaron a los laboratorios para el análisis de *Escherichia coli*.

Se siguieron los siguientes pasos:

1. Medición previa de la variable dependiente
2. Aplicación de las variables independientes.
3. Medición de la variables dependiente después de la prueba

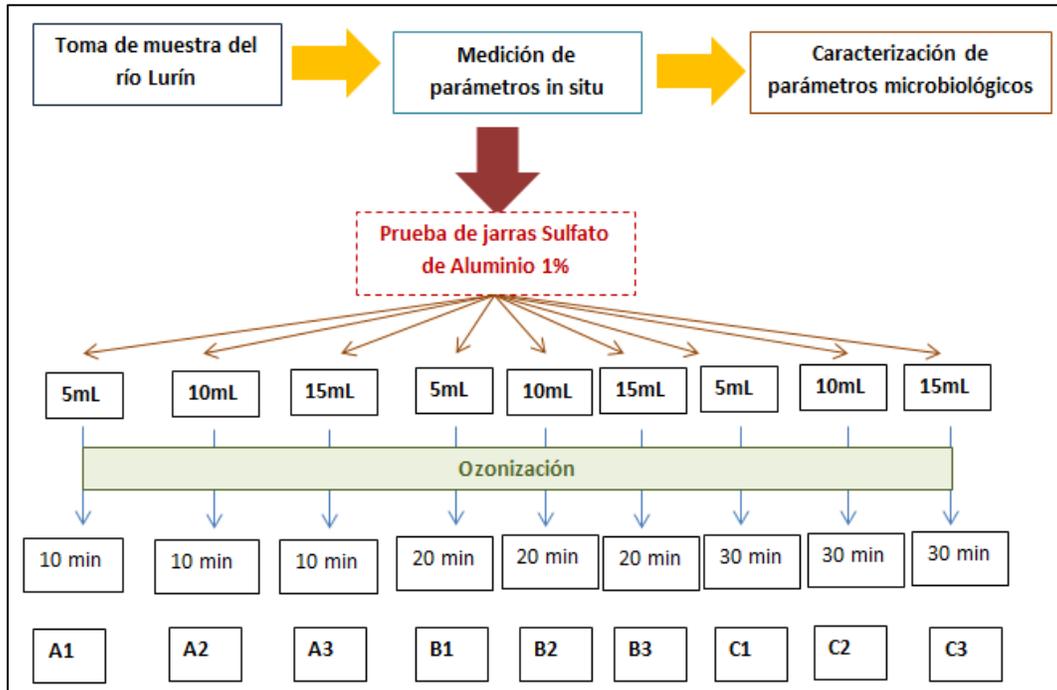


Figura 3. Procedimientos de experimentación. Elaboración propia

Tabla 4.

Variables de experimentación

		Volumen de Sulfato de Aluminio 1% (mL)		
		5	10	15
Tiempo de ozonización (min)	10	A1	A2	A3
	20	B1	B2	B3
	30	C1	C2	C3

Nota: Elaboración propia

3.3.2. Procedimiento para la toma de muestra

Este procedimiento se realizó conforme al Protocolo Nacional para Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales, siguiendo las siguientes pautas:

- Se usó guantes antes de la toma de muestra
- Se ubicó en un punto donde de fácil acceso y poca turbulencia
- Se enjuagó con agua del punto de muestreo, luego se tomó las muestras de agua
- Se sumergió la jarra en sentido contrario a la corriente de 20 a 30 cm

En la Tabla 5 se especifica los detalles del punto de muestreo.

Tabla 5.

Ubicación de la toma de muestra

Código	Coordenadas		Ubicación		
	Este	Norte	Región	Provincia	Distrito
Mo	293280	8642865	Lima	Lima	Lurín

Nota: Elaboración propia

3.3.3. Caracterización del río Lurín

Se realizó la determinación de las condiciones iniciales de pH, conductividad, temperatura y concentración de *Escherichia coli* del río Lurín, previas a la experimentación. Para la determinación de *Escherichia coli* se utilizó el método normalizado a cargo del Laboratorio R-LAB S.A.C.: SWEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 9221 G-2, 23rd Ed.

3.3.4. Preparación para la dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio

Para el pre-tratamiento del agua superficial se utilizó como coagulante el Sulfato de aluminio, proporcionado por la Universidad Nacional tecnológica de Lima Sur.

La solución de Sulfato de Aluminio al 1% se preparó utilizando una fiola de 100mL. Para la operación del test de jarras se procedió a rotular Bakers con volúmenes diferenciados de 5, 10 y 15 mL, dichas cantidades fueron diferenciadas para cada análisis (Anexo 1, Figura 10).

3.3.5. Procedimiento con el test de jarras

El test de jarras consistió en homogenizar el agua superficial con diferentes volúmenes de coagulantes. Para ello se colocó 1.2 L de agua en cada uno de los recipientes del test y se procedió programar a una agitación de 200 rpm por 5 min.

Para la dosificación del agua con coagulante (Sulfato de Aluminio 1%) se procedió a tomar volúmenes ya establecidos en los beakers y verterlos simultáneamente en proporción ascendente; por ejemplo, 5mL 10 mL y15 mL, inmediatamente después de dar inicio al equipo.

Posterior a ello se dejó sedimentar el material coagulado entre otras materias de densidad mayor al agua por alrededor de 30 min.

3.3.6. Procedimiento con el agitador magnético y ozonización

Transcurrido el tiempo de sedimentación, se tomaron de cada recipiente 1 litro de agua para someter al proceso de ozonización.

Las pruebas para el tratamiento con ozono, requirieron de un agitador magnético, a fin de mantener una mezcla constante a 120 rpm de ozono con un caudal constante de 0.1 mg/s y el agua. El procedimiento para llevar a cabo la prueba es:

1. Colocar un recipiente sobre el agitador
2. Colocar 1000 mL de muestra, medidos con una probeta graduada.
3. Colocar el difusor de ozono, programar el tiempo designado para cada prueba e iniciar el generador de ozono.
4. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos e iniciar el agitador.

3.3.7. Tiempo de tratamiento

El tiempo de tratamiento para cada prueba fue de 10, 20 y 30 minutos.

Posterior al tratamiento, se procedió a analizar parámetros de pH, T° conductividad y *Escherichia coli*.

3.3.8. Análisis Estadístico

Con los resultados experimentales se procedió a construir tablas que relacionan las concentraciones de *Escherichia coli*, con el volumen de coagulante y el tiempo de ozonización.

Se analizaron e interpretaron los resultados mediante la prueba de hipótesis para datos pareados, usando el software IBM SPSS Statistics 22.

Así también se utilizó la prueba estadística de comparación de Wilcoxon para datos pareados y gráficas, a fin de relacionar las condiciones iniciales, finales además del porcentaje de remoción de *Escherichia coli*.

3.4. Resultados

3.4.1. Resultados físicos y microbiológicos de caracterización del río Lurín

Los resultados de análisis físicos y microbiológicos del río Lurín se reportan en la siguiente Tabla 6.

Cabe recalcar que las muestras fueron tomadas en el mes de Marzo, presentando el río Lurín un caudal turbulento.

Tabla 6.

Evaluación del caudal

Parámetros	Resultados	Unidad
Temperatura	25	°C
pH	8.4	-
Conductividad	1083	uS/cm
E. Coli	94x10 ³ (*)	NMP/mL

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 6 se puede observar los resultados iniciales del agua del río Lurín, los mismos que serán comparados después del tratamiento.

3.4.2. Resultados microbiológicos del agua a diferentes tratamientos.

La Tabla 7 muestra las características del generador de ozono.

Tabla 7.

Características del generador de ozono

Generador de ozono		
Caudal	Potencia	Consumo de energía
0.1mg/s	220V	≤20 W

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 8 se muestran los resultados microbiológicos de los 9 tratamientos con cambios en volumen de Sulfato de Aluminio 1% y tiempos de tratamiento con ozono 0.1mg/s.

Cabe recalcar que ambos procesos se realizaron de manera aleatoria.(Anexo)

Tabla 8.*Resultado de parámetros microbiológicos después del tratamiento*

TRATAMIENTO		RESULTADO
<i>Sulfato de Aluminio 1% (mL)</i>	<i>Tiempo de ozonización (min)</i>	<i>Concentración de E. Coli (NMP/100mL)</i>
5	10	240
10	10	205
15	10	170
5	20	33
10	20	17
15	20	4,5
5	30	4,5
10	30	3
15	30	2

Nota: Elaboración propia

Tabla 9.*Porcentaje de remoción de Escherichia coli*

TRATAMIENTO		Porcentaje de Remoción (%)
<i>Sulfato de Aluminio 1% (mL)</i>	<i>Tiempo de ozonización (min)</i>	
5	10	99.745
10	10	99.782
15	10	99.819
5	20	99.965
10	20	99.982
15	20	99.995
5	30	99.995
10	30	99.997
15	30	99.998

Nota: Elaboración propia

3.4.3. Resultados físicos del agua después del tratamiento

En la Tabla 10 se aprecian los resultados de pH y conductividad después de cada tratamiento.

Tabla 10.

Resultados de parámetros fisicoquímicos después del tratamiento

Tratamiento		pH	Conductividad (uS/cm)
<i>Sulfato de Aluminio 1% (mL)</i>	<i>Tiempo de ozonización (min)</i>		
5	10	7.920	490
10	10	8.110	494
15	10	8.041	511
5	20	8.312	695
10	20	8.258	884
15	20	8.252	475
5	30	8.382	492
10	30	8.321	510
15	30	8.295	525

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 10 se puede apreciar que la conductividad y el potencial de hidrogeno en todas las pruebas experimentales se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad de agua (Anexo 2).

3.5. Análisis estadístico

Para determinar si existió reducción en la concentración de *Escherichia coli* después del tratamiento, se analizaron e interpretaron los resultados mediante la prueba de Wilcoxon para datos pareados, considerando un nivel de significancia de 0.05.

El procesamiento de datos se realizó utilizando una hoja de cálculo en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 22. Anexo 6.

Estadísticas descriptivas				
Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Concentracion inicial	9	94000.0	0.0	0.0
Concentracion final	9	75.4	99.2	33.1

Figura 4. Medidas estadísticas. Elaboración propia

La Figura 4 muestra las medidas estadísticas que caracterizan a las muestras de concentración inicial y final de *Escherichia coli*. Se puede observar que el promedio de la concentración final es inferior al promedio de la concentración inicial.

3.5.1. Prueba de hipótesis

Los resultados obtenidos fueron sometidos a comprobación mediante las pruebas de hipótesis respectivas (Anexo 6):

H0: No existe reducción en la Concentración de *Escherichia coli* (Ho: diferencia_u=0)

H1: Existe reducción en la Concentración de *Escherichia coli* (Ho: diferencia_u>0)

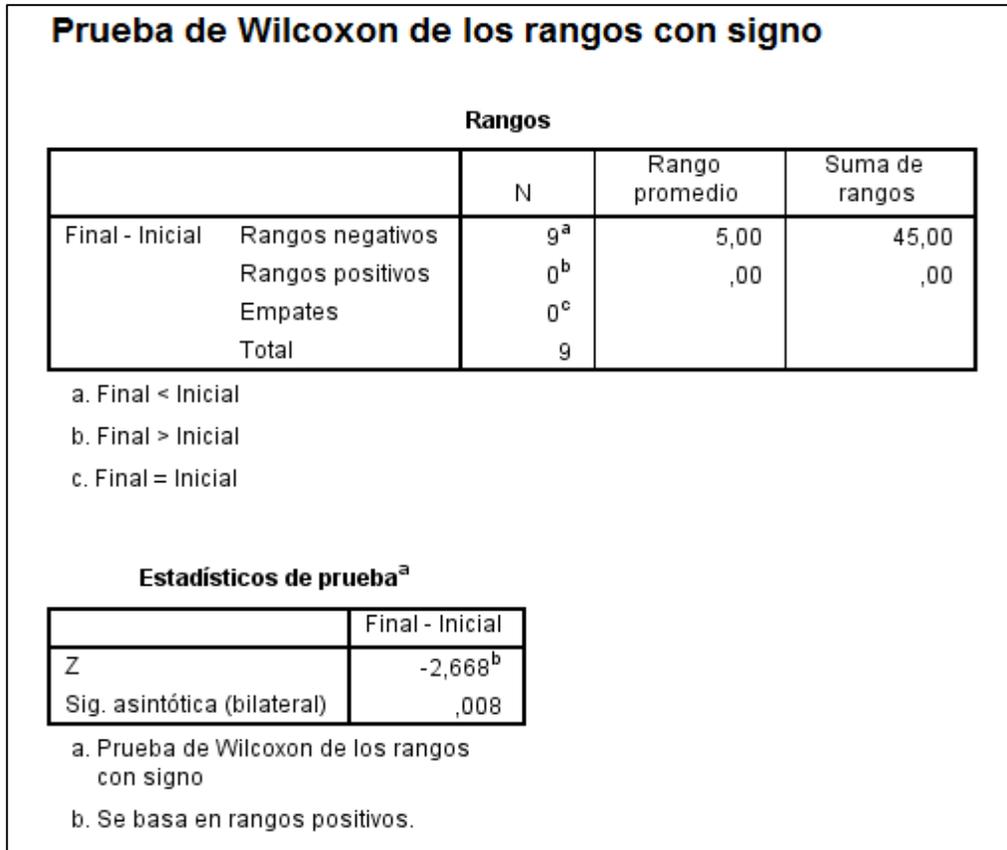


Figura 5. Prueba de hipótesis. Elaboración propia



Figura 6. Resumen de contraste de hipótesis. Elaboración propia

La Figura 5 muestra los resultados de la prueba de hipótesis, resultando el valor $p=0.008$ menor a $\alpha=0.05$; a partir de ello y según lo descrito en la Figura 6, se toma la decisión de rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis

alternativa, esto quiere decir que: existe una diferencia significativa entre la concentración inicial y final de *Escherichia coli*.

La Figura 6 muestra la representación gráfica de la reducción en la concentración de *Escherichia coli*.

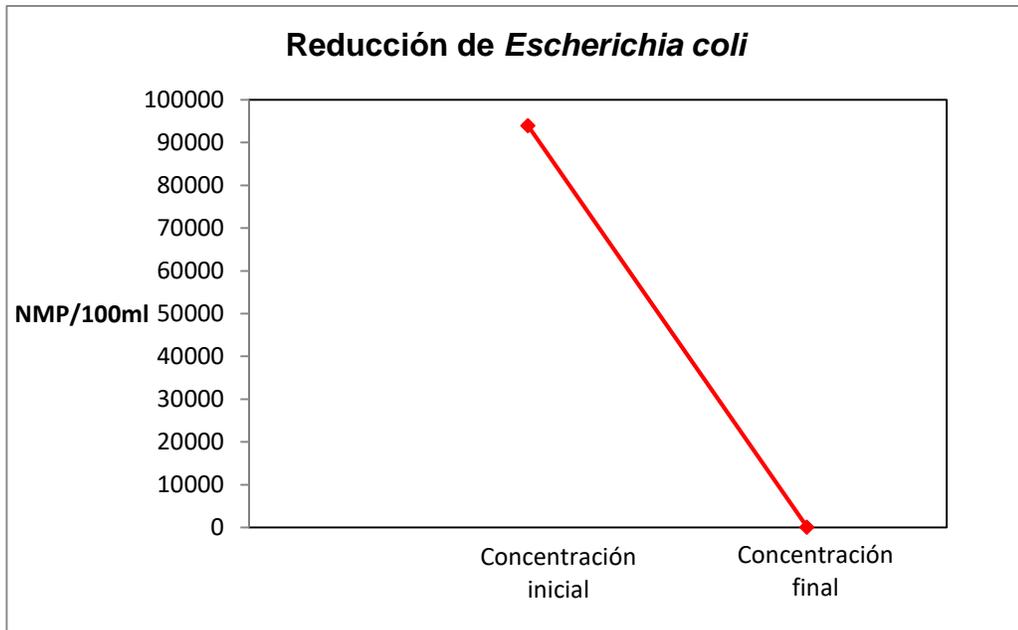


Figura 7. Reducción de *Escherichia coli*. Elaboración propia

La Figura 6 muestra la tendencia de los tratamientos en la reducción de *Escherichia coli*, cuando se utiliza Sulfato de Aluminio 1% y ozono 0.1mg/s. Se observa una notable reducción de la bacteria, llegando a ser aproximadamente en su totalidad.

3.5.1.1. Cantidad de Sulfato de Aluminio y concentración de *Escherichia coli*.

La Figura 7 muestra la relación entre el volumen de Sulfato de Aluminio 1% y la concentración de *Escherichia coli* (NMP/100mL)

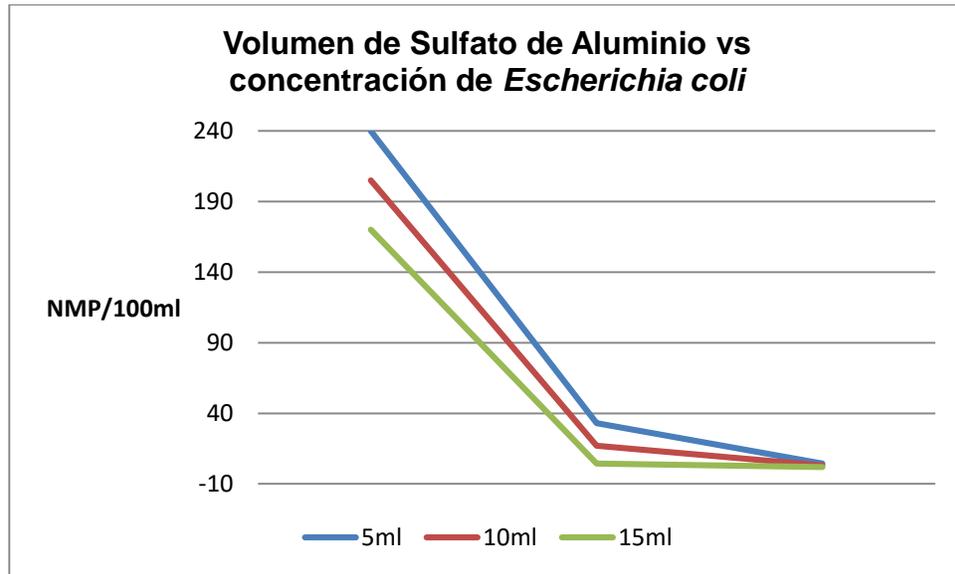


Figura 8. Volumen de Sulfato de Aluminio vs concentración de *Escherichia coli*. *Elaboración propia*

En la Figura 8 se observó la tendencia de reducción en la concentración conforme aumenta el volumen de sulfato de aluminio; así también las menores concentraciones de *Escherichia coli* se obtuvo a volúmenes superiores de 5ml de Sulfato de Aluminio 1%.

3.5.1.2. Tiempo de ozonización y Porcentaje de remoción de *Escherichia coli*

La Figura 8, muestra la relación entre el tiempo de ozonización y la concentración de *Escherichia coli* (NMP/100mL)

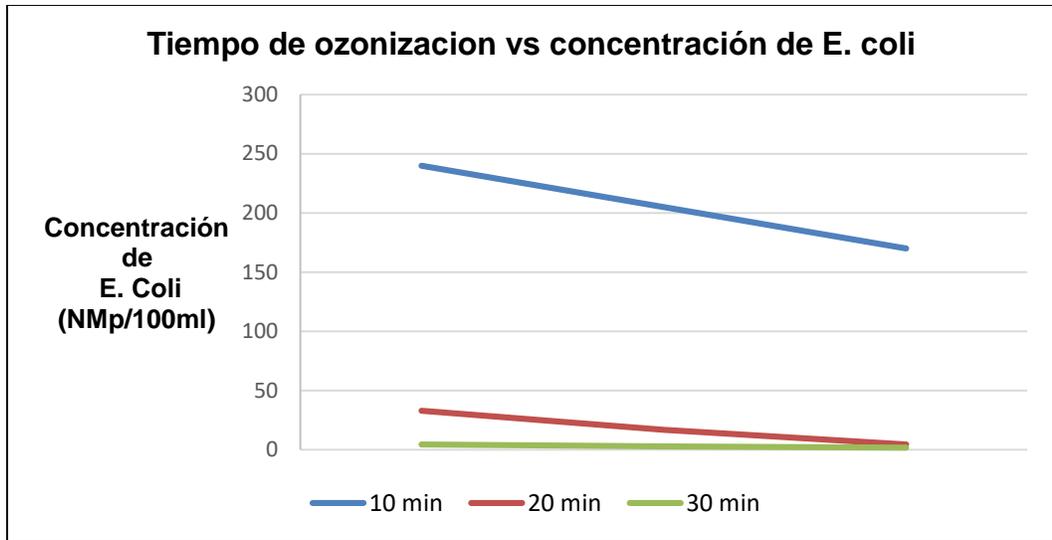


Figura 9. Tiempo de ozonización vs concentración de *Escherichia coli*. Elaboración propia

En la Figura 9 se muestra la interacción que existe entre la concentración de *Escherichia coli* y el tiempo de ozonización, se observó que las menores concentraciones de *Escherichia coli* se obtienen a un tiempo de tratamiento con ozono de 30 min y las mayores concentraciones de *Escherichia coli* a un tiempo de tratamiento con ozono de 10min.

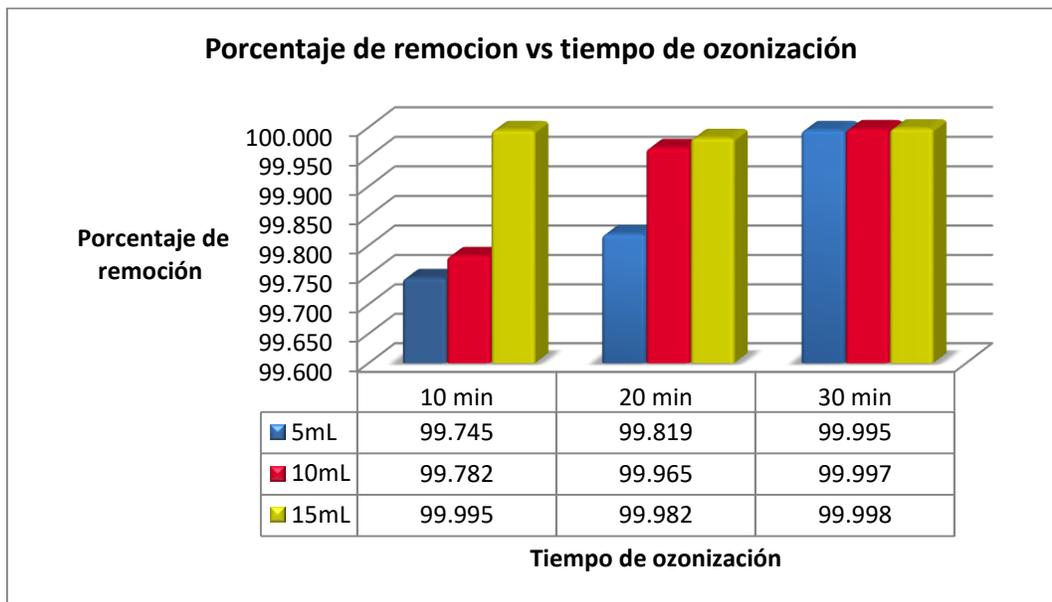


Figura 10. Porcentaje de remoción VS Tiempo de ozonización. Elaboración propia

En la Figura 10, se puede observar que el tratamiento alcanzo porcentajes de remoción mayores al 90%; así también, el mayor porcentaje de remoción 99.998 % se obtuvo con un tiempo de ozonización de 30 min y 15ml de Sulfato de Aluminio 1%.

En el siguiente Figura 11, se muestran los resultados de las pruebas experimentales en comparación con los valores establecidos en los estándares de Calidad de Agua.

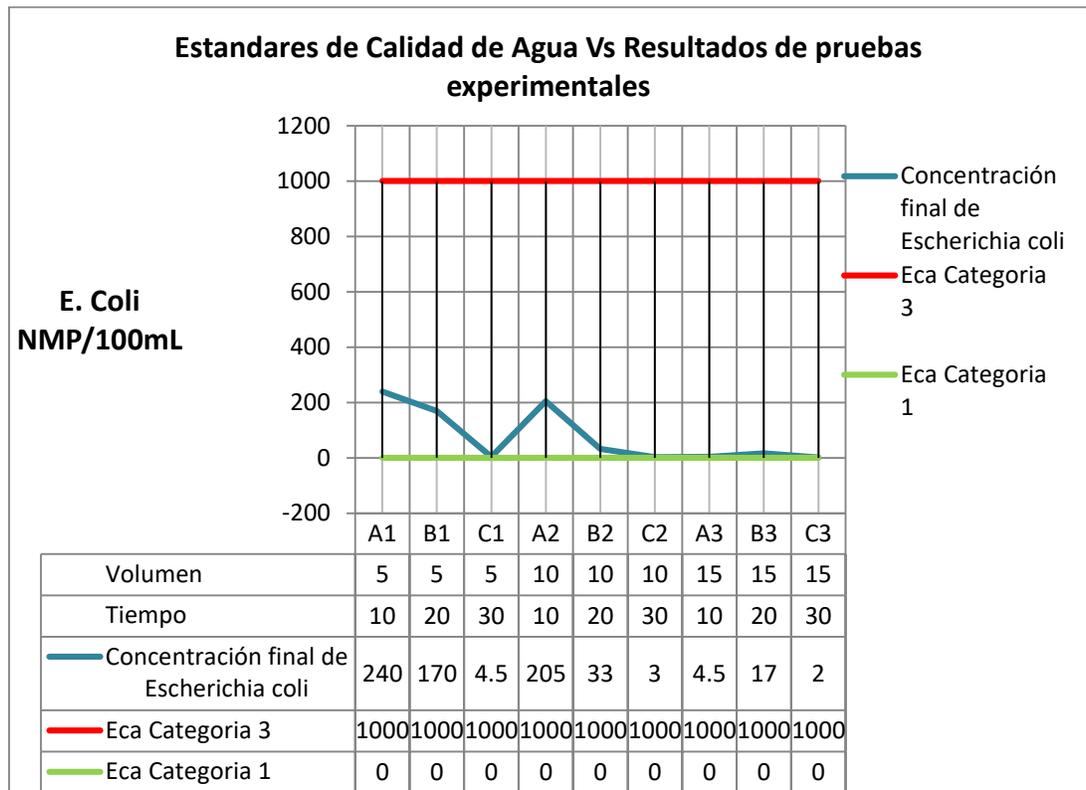


Figura 11. Estándares de Calidad de Agua VS Resultados de pruebas experimentales. Elaboración propia.

En la Figura 11 se observó que la concentración de la carga microbiana (*Escherichia coli*) final, después del tratamiento, se encuentran por debajo de los niveles establecidos en los estándares de calidad ambiental Categoría 3, “Riego de vegetales y bebida de animales”; así también, se encuentran por encima de los niveles establecidos en los estándares de calidad ambiental Categoría 1, “Poblacional y Recreacional”.

3.6. Discusión de Resultados

Conforme al objetivo general, reducir la carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la cuenca baja del río Lurín, a partir de los resultados obtenidos y la prueba de hipótesis planteada se establece que existe reducción en la concentración de *Escherichia coli* en aguas de la cuenca baja del río Lurín, después del tratamiento con Sulfato de aluminio 1% y ozono 0.1 mg/s.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Mohammad, Kalnasi, Riskowski, & Castillo (2018) en “Reducción de *Salmonella* y *Escherichia coli* productora de toxina Shiga y brotes de alfalfa utilizando un sistema generador de ozono” y Jingquan (2014), en su estudio “Generalidad y generación electroquímica de ozono”; quienes señalan que es posible la reducción de *Escherichia coli* utilizando una concentración de ozono. Ello acorde con lo que se halla en los resultados de esta investigación.

Según el objetivo específico determinar el tiempo de ozonización óptimo para la reducción de carga microbiana (*Escherichia coli*) en aguas de la cuenca baja del río Lurín, los resultados descritos en la Figura 10 evidencian que a un tiempo de 10, 20 y 30 minutos el porcentaje de reducción en la concentración de *Escherichia coli* es mayor al 99%, datos que al ser comparados con lo descrito por Gordillo (2013) en “Investigación Técnica Económica sobre la desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación”, quien afirma que el tiempo de contacto para la desinfección de *Escherichia coli* es de 10 min con un porcentaje de reducción del 99%, concuerda con lo que en este estudio se halla.

CONCLUSIONES

- La concentración de bacterias *Escherichia coli* registradas en el agua de la cuenca baja del río Lurín es de 94×10^3 NMP/100mL.
- El proceso de oxidación avanzada planteado logro reducir la carga microbiana (*Escherichia coli*), con porcentajes de reducción mayores al 99%.
- El volumen de Sulfato de Aluminio 1%, que representa mejores resultados en la reducción de la concentración de carga microbiana (*Escherichia coli*) es 15 ml.
- El tiempo de ozonización, que representa mejores resultados en la reducción de la concentración de carga microbiana (*Escherichia coli*) es 30 min.

RECOMENDACIONES

- El modelo de experimentación propuesto logra reducir la carga microbiana de *Escherichia coli*; sin embargo, es recomendable estudiar la eficacia del tratamiento a tiempos más prolongados de ozonización, a fin de garantizar que exista completa remoción de la carga microbiana de *Escherichia coli*.
- Se recomienda realizar el análisis completo de parámetros establecidos por los Estándares de Calidad de Agua (SST, Coliformes, etc.) después del tratamiento, a fin de determinar su total cumplimiento con la normativa legal y posible uso para consumo humano.
- La presente investigación exhorta a la realización de otras investigaciones, se recomienda ampliar la investigación incluyendo la evaluación económica así como también, la estimación de la población objetivo que será beneficiada con la realización del proyecto.
- Se recomienda estudiar la eficiencia del tratamiento en la reducción de la carga microbiana mediante el uso de otros coagulantes; así también, el uso de energías renovables (solar, eólica, etc.) como alternativa a la fuente de energía.
- Los parámetros de pH deben ser considerados durante el tratamiento planteado, debido a que el coagulante Sulfato de Aluminio tienen un rango de pH recomendado para mayores resultados.

BIBLIOGRAFÍA

OZOGAS. (2002). *El ozono*. Barcelona.

Barajas, C., & Andrea, L. (2015). *Determinacion de la dosis ótima de sulfato de aluminio (Al₂ (SO₄)₃18H₂O) en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neural artificial*. (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Santo Tomás. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cáceres, J. (2018). *Uso de iones de plata y ozono en el tratamiento de agua para consumo humano* (Tesis de grado). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cadavid, J. (2011). *Aplicación de los procesos avanzados de oxidación como alternativa de tratamiento de plaguicidas obsoletos: caso paraquat*. (Tesis de Maestria). Santiago de Cali: Universidad del Valle. Recuperado de : <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7635/1/7720-0445516.pdf>

Camarena, G. (2013). *Aislamiento de la cinetica de inactivacion de la Escherichia Coli con ozono a nivel laboratorio* (Tesis de grado). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Campana, R. (2003). *Análisis, evaluación y mantenimiento de sistema ozonizador de agua*. (Tesis de grado). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Carhuayo, M. A. (2011). *Evaluación in vivo de la eficacia antibacteriana de los irrigantes endodonticos hipoclorito de sodio al 1 % a temperatura de 37° y agua ozonizada frente a una cepa de enterococcus fecalis (ATCC 29212)*. (Tesis de doctorado). Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.

Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.

- Chiva, S., Berlanga, J., Martínez, R., & Climent, J. (2017). *Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua*. Castellón, España: Publicaciones de Universitat Jaume I. Recuperado de : www.repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/168282/9788416546305.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Corporacion autonoma regional de Tolima. (2004). *Plan de Ordenamiento y manejo de cuencas hidrograficas priorizadas en el Departamento del Tolima*. Tolima. Recuperado de: https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/formulacion/a1formulacion_objetivos_metas_totare.pdf
- Fernández, I. (2012). Evaluación de daños oxidativos en *Escherichia coli* y *Salmonella enterica* var. *Typhimurium* a baja concentración de ozono disuelto. *CENIC Ceincias Biológicas*, 1-2. Recuperado de : www.revista.cnic.edu.cu/revistaCB/sites/default/files/articulos/CB-3-2012-110-112.pdf
- Francisco, J., Iparraguirre, L., Guzmán, P., Gómez, M., & Quiquia, J. (2017). *Evaluación de la calidad de agua del río Lurín*. Lima: Universidad Alas Peruanas.
- Franco, P., Ramírez, L., Orozco, M., & López, L. (2013). Determinación de *Escherichia coli* e identificación del serotipo O157:H7 en carne de cerdo comercializada en los principales supermercados de la ciudad de Cartagena. *Lasallista de Investigación*, 91-100. Recuperado de : www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v10n1/v10n1a09.pdf
- Fundacion Futuro Latinoamericano (FFLA). (2015). *Proceso de conformacion del Consejo de Rrecursos Hídricos de la Cuenca Interregional Chillón, Rímac y Lurín, Perú. Una experiencia de gobernanza*. AQUAFONDO.1-97
- Galindo, G. (2018). *Deterinación de la Dosis Óptima de sulfato de aluminio granulado Tipo B en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca - Emapa Pasco*.

(Tesis de Grado). Cerro de Pasco: Universidad Nacional "Daniel Alcides Carrion".

Gamboa, N. (2018). *Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado Sacsamarca, región Ayacucho, Perú*. (Tesis de grado). Ayacucho: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Girgin, Z., Barisci, S., & Turkay, O. (2018). Mechanisms of inactivation of *Escherichia coli* and *Enterococcus faecal* by ozone. *LWT - Food Science and Technology*, 1 - 20. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/328635468_Mechanisms_of_the_Escherichia_coli_and_Enterococcus_faecalis_inactivation_by_ozone

Gordillo, G. E. (2013). *Investigación Técnica y Económica sobre desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación*. (Tesis Doctoral). Departamento de Ingeniería Civil: ordenación del territorio, urbanismo y medio ambiente E.T.S.I. de caminos, canales y puertos. Recuperado de: http://oa.upm.es/14415/1/Gerardo_Gordillo_de_Coss.pdf

Hancox, J. (2011). *La problemática del agua*. San Salvador: Centro Salvadoreño de Tecnología Apropiada (CESTA). Recuperado de: <http://www.cesta-foe.org/sv/home/Pubs/la%20problematica%20del%20agua.pdf>

Jímenez, M. (17 de Noviembre de 2011). *Periodismo Perú*. Obtenido de Periodismo Perú: <http://www.periodismoperu.com/2011/11/17/descontaminacion-y-tratamiento-de-aguas-servidas/>

Jingquan, L. (2014). *Generalidad y generación electroquímica de ozono*. (Tesis de grado). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

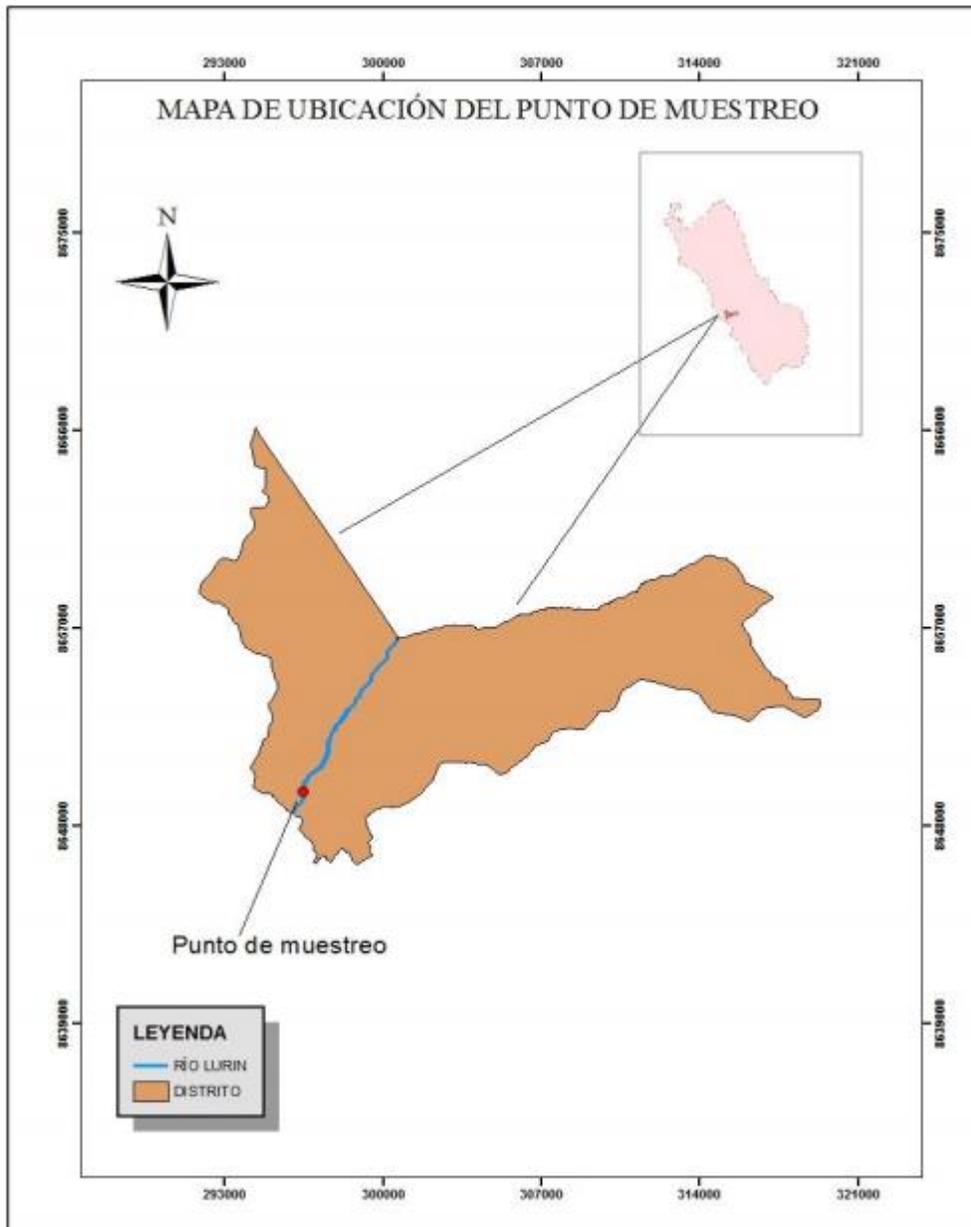
Merma, A., & Vara, K. (2015). *Simulación de un proceso de desinfección eficiente de agua a potabilizar, mediante ozono, respetando el medio ambiente* (Tesis de grado). Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Mohammad, Z., Kalnasi, A., Riskowski, G., & Castillo, A. (2018). Reduction of Salmonella and Shiga toxin - producing *Escherichia coli* on alfalfa seeds and sprouts using an ozone generating system. *International Journal of Food Microbiology*, 57-63. Recuperado de : www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160518305592
- Momblanch, A., Paredes, J., Andreu, J., Ramos, L., Baldeón, W., & García, J. (2015). Análisis de medidas para la mejora de la calidad del agua en el tramo bajo del río Lurín (Perú). *Ingeniería del agua*, 1-10. Recuperado de: <http://www.uco.es/jia2015/ponencias/b/b029.pdf>
- Morales, C. (2012). *Manual para Gestores del Agua de la Cuenca del Río Lurín*. Lima.
- Moreno, M. D. (2011). *Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones medicas por tecnología de efecto corona y UV*. (Tesis de grado). Mexico D.F.: Instituto Politecnico Nacional . Recuperado de: tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/23458/Moreno%20Rojero%20Maria%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pelayo, D. (2018). *Procesos de oxidación avanzada: avances recientes y tendencias futuras*. Santander, España: Universidad de Cantabria. Recuperado de: repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14217/409513.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ríos, S., Aguedo, R. M., & Gutiérrez, L. A. (2017). Patogenos e indicadores microbiologicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 236-247.
- Sanchez, G. (2014). *Diseño y construcción de un sistema de ozonificación para purificación de agua alimentado con energía solar*. (Tesis de grado). Jiquilpan: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de : tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/16789/1/SANCHEZ%20VEGA%20OMAR%20-%20B120987.pdf

- Toledo, E., Falcon, N., Flores, C., Rebatta, M., Guevara, J., & Ramos, D. (2015). Susceptibilidad antimicrobiana de cepas de Escherichia Coli obtenidas de muestras de heces de cerdos destinados a Consumo Humano. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 35-40. Recuperado de: <http://www.upch.edu.pe/vrinve/dugic/revistas/index.php/STV/article/view/2823>
- World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking water quality-4th Edition incorporating the first addendum*. Geneva: World Health Organization. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>

ANEXOS

ANEXO 1. Ubicación del punto de muestreo



ANEXO 2. Galería Fotográfica

Figura 12. Reconocimiento de la zona



Figura 13. Toma de muestra del río Lurín



Figura 14. Preparación de coagulante

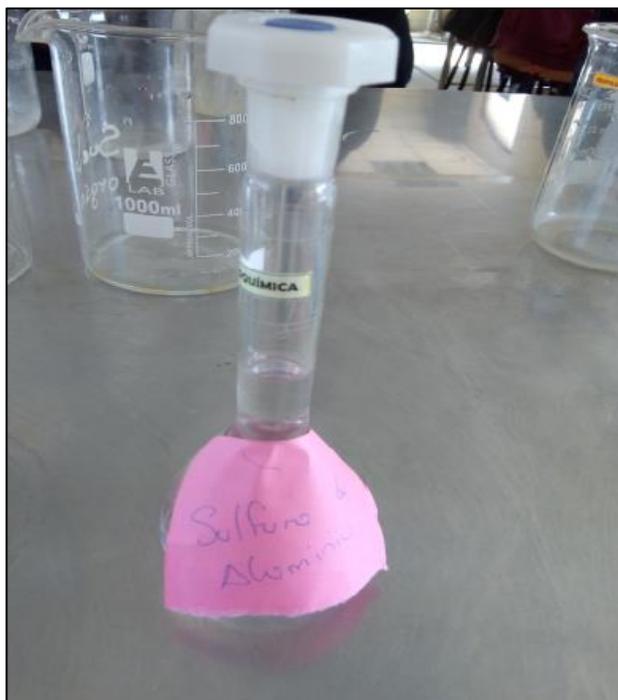


Figura 15. Realización del test de jarras

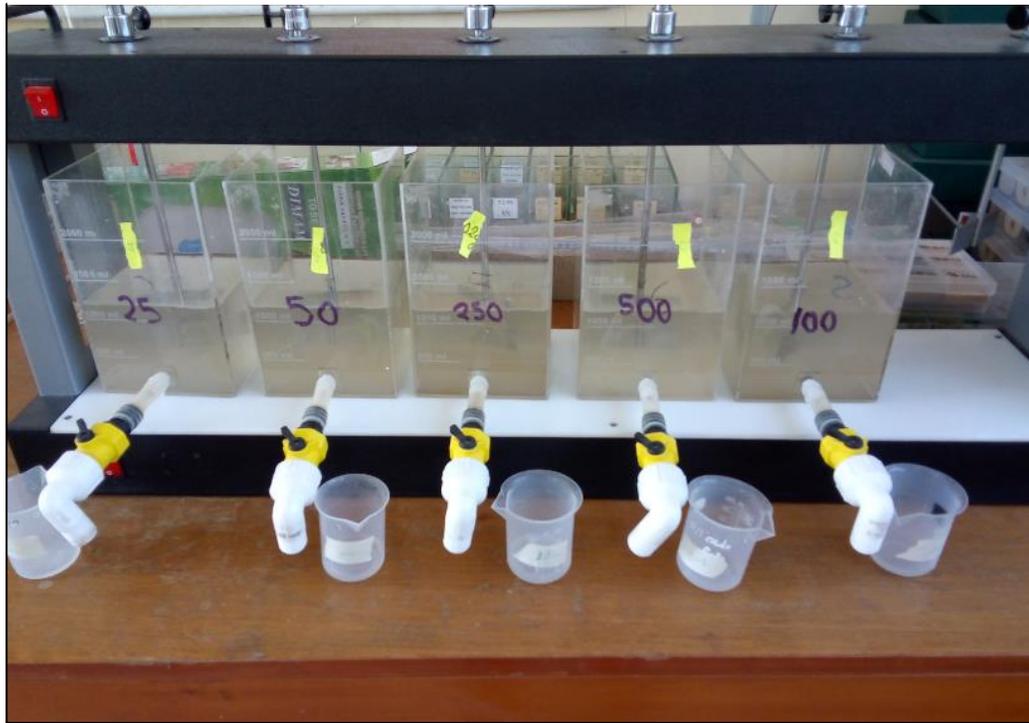


Figura 16. *Agitador magnético, multiparámetro y generador de ozono*



Figura 17. *Proceso de sedimentación*



Figura 18. *Proceso de ozonización*

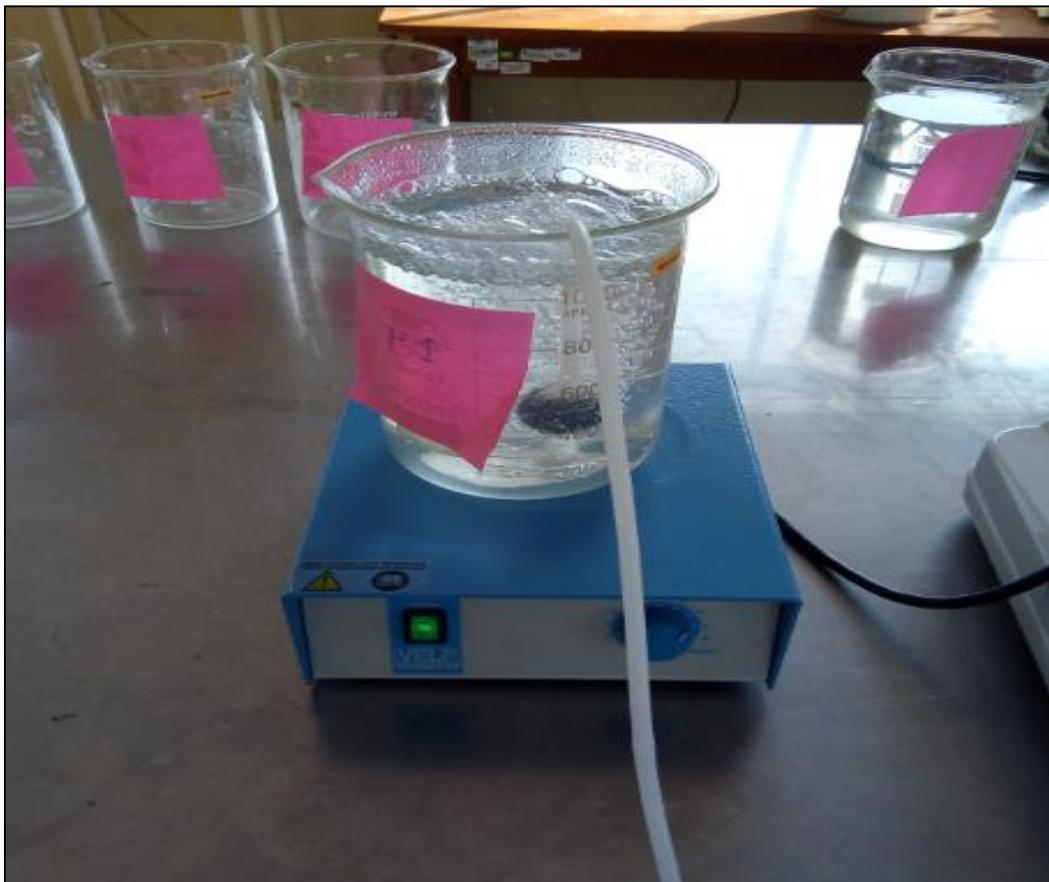


Figura 19. *Medición de parámetros físico químicos*

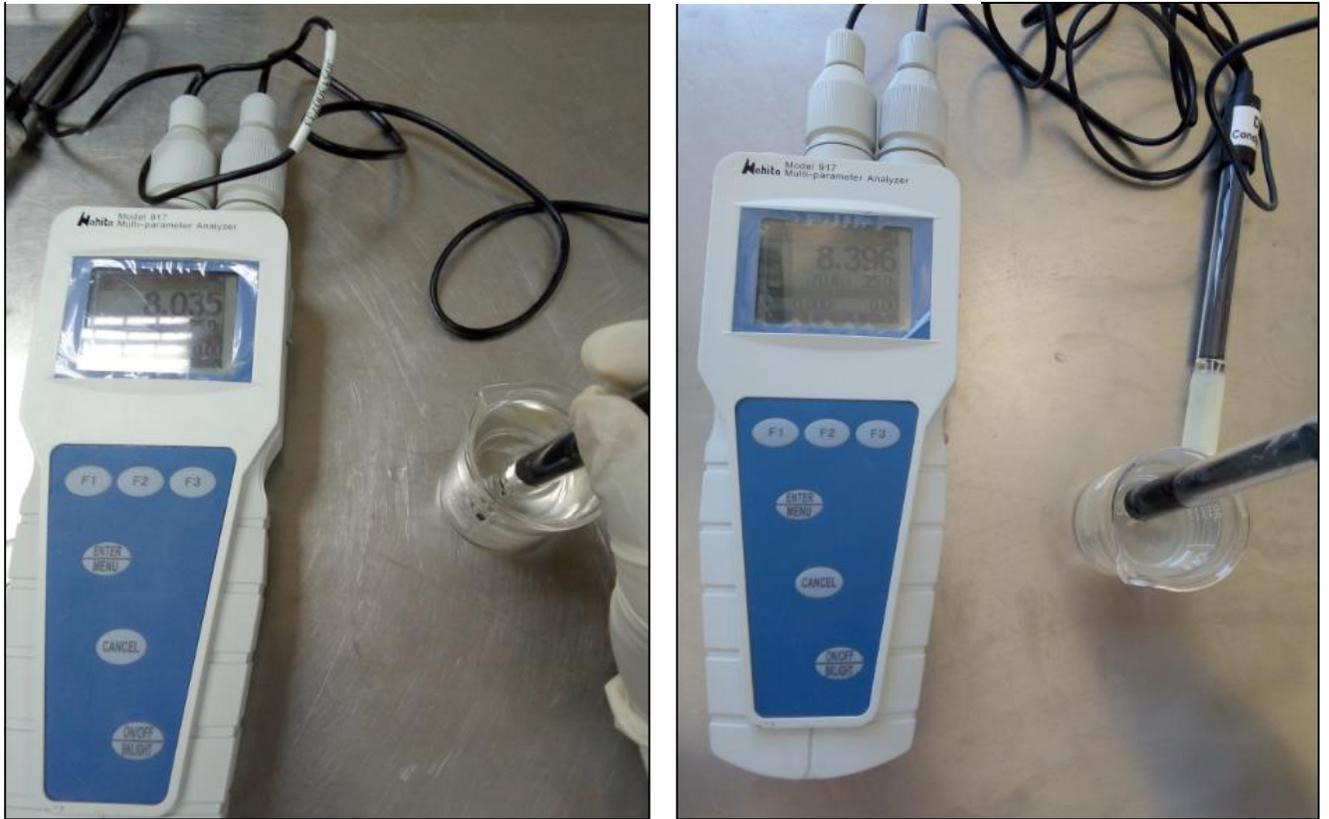


Figura 20. *Preparación de muestras finales*



ANEXO 3. Parámetros físico químicos en el Estándar de calidad de agua Categoría 1 y Categoría 3

Figura 21. Estándar de Calidad de Agua Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Figura 22. Estándar de Calidad de Agua 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	(μ S/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

ANEXO 4. Parámetros Microbiológicos en el Estándar de calidad de agua Categoría 1 y Categoría 3.

Figura 23. *Parámetros microbiológicos. Estándar de Calidad de Agua Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable*

MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

Figura 24. *Parámetros microbiológicos. Estándar de Calidad de Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales*

MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

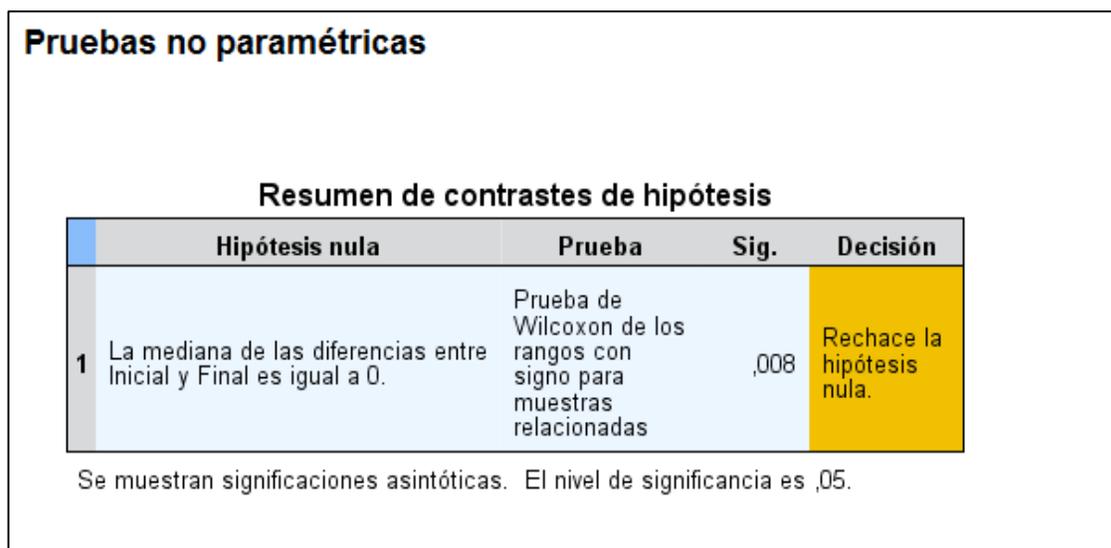
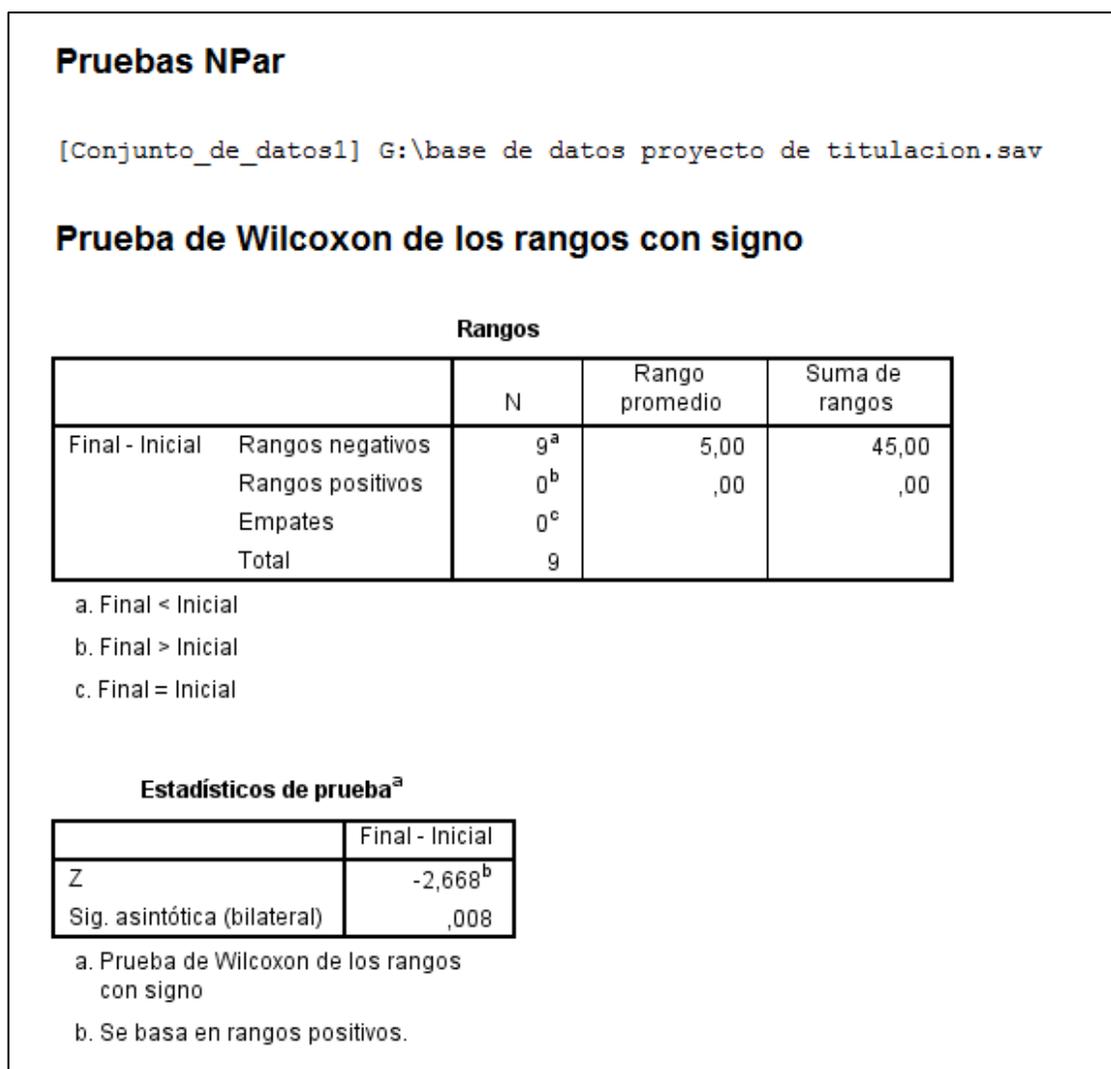
ANEXO 6. ANALISIS DE RESULTADOS EN MINITAB

Figura 25. Introducción de datos en IBM SPSS Statistics 22

	Pruebas	Cantidad	Tiempo	Codificación	Inicial	Final	var										
1	1	15	20	B3	94000	4,5											
2	2	10	20	B2	94000	17,0											
3	3	15	10	A3	94000	170,0											
4	4	10	30	C2	94000	3,0											
5	5	10	10	A2	94000	205,0											
6	6	5	30	C1	94000	4,5											
7	7	5	10	A1	94000	240,0											
8	8	5	20	B1	94000	33,0											
9	9	15	30	C3	94000	2,0											
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	

	Pruebas	Cantidad	Tiem	var													
1	1	15	20	4,5													
2	2	10	20	7,0													
3	3	15	10	0,0													
4	4	10	30	3,0													
5	5	10	10	5,0													
6	6	5	30	4,5													
7	7	5	10	0,0													
8	8	5	20	3,0													
9	9	15	30	2,0													
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	

Figura 26. Análisis estadísticos por IBM SPSS Statistics 22



ANEXO 7. INFORME DE ENSAYO

Figura 27. Cadena de custodia para análisis de calidad de agua



CADENA DE CUSTODIA

DATOS DEL CLIENTE Y FACTURACIÓN

Cliente: Julia Eledística Funes Navarro

Dirección del Cliente: Rj San Andres, N° 1, Lt 11, Villa Helena del Trunfo

RIC: 10708345865 Teléfono: 945902526

Avonca 2: Julia Eledística Funes Navarro Correo: julia.funes@gmail.com

DATOS PARA EJECUCIÓN DEL MUESTREO

Lugar de Muestreo: El CLIENTE N° de Orden de Trabajo: 1903039

Muestreo realizado por: El CLIENTE Análisis de Campo: 1903039

Lugar de Muestreo: Rio Luna (Desembocadura del rio), Alhura del puente - Pampamarca Sur

Procedimiento del Muestreo: Ensayo

Contador de Campo: Ensayo

Contador R-LAB: Ensayo

Tipos de Muestreo: Ensayo

Tipos de Envase: Ensayo

Tipos de Envase / Envase (2): Ensayo

N° Cadena de Custodia: 1903116A

N° Plan de Muestreo: Preservante

Código del Laboratorio	Fecha de Muestreo (dd-mm-aa)	Hora de Muestreo (hh:mm)	Tipo de Muestra y/o Producto (1)	N° de Envase / Estado de Conserv. (2)	Descripción del Punto de Muestreo	Conformidad del Servicio por el Cliente (en campo)	
						NO	SI
TC3	1903116A-05	22-03-19	14:55	ANSL	1	2	<p>NO CONFORME</p> <p>CONFORME</p> <p>NO CONFORME</p> <p>CONFORME</p>

CONFORMIDAD DEL SERVICIO POR EL CLIENTE (EN CAMPO)

NO CONFORME: Julia Funes Navarro

CONFORME: Tessita

SOLO PARA SER LLENADO POR PERSONAL DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS

Entregado por: Julia Eledística Funes Navarro Firma: [Firma]

Recibido por: Deyss Cortez Arauco Firma: [Firma]

CONDICIÓN DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS

En buen estado:	SI	NO
Receptor apropiado:	SI	NO
Dentro del tiempo de conservación:	SI	NO
Condiciones preservadas:	SI	NO

CONFORME: X NO CONFORME:

Observaciones:

(1) MATERIAL: Superficial/Lago/Laguna (ANSI-A), Rio/Arroyo; Subterránea/Maravial/ANSA/ Pozo (ANSI-B), Terminal (ANSI-C)

AGUA NATURAL: Superficial/Lago/Laguna (ANSI-A), Rio/Arroyo; Subterránea/Maravial/ANSA/ Pozo (ANSI-B), Terminal (ANSI-C)

AGUA SALINA: Mar/SA/M, Salobre/SA/O; AGUA RESIDUAL: Doméstico/RO, Industrial (AG), Municipal/GRU;

AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: Bodega/Residual/ACHP, Muestra/ACHP, Emersión/ACHP, Puro/ACHP, Laguna Artificial/ACHA,

SUELO: Suelo (S), Laboratorio (SEED), Aire-H, EMISIONES EN FUENTES ESTACIONARIAS: (EM) OTROS(O):

(2) ENVASE: PLASTICO(P), VIDRIO(V), VIDRO AMBERYVA, BOLSAS ZIPLOC(Z), SOBRES MUYLAK(M), PLACA PETRI(P), TUBOS ABSORBENTES (TA), OTROS(O)

F-RTM-04

Revisión: 04

Fecha: 10-01-2019

Página 1 de 1



Scanned with CamScanner

Sede en Lima: Calle Sierra 11100, Urb. Pichincha de Arce Prado, 1to. Etapa Ate / Avoc. De Vinayada Cur de Molupe, MZ. B, L104-VIIA el Salvador / Teléfono: 6776333 / Email: laboratorio@gmail.com / Visitarnos en: www.rlab.com

Figura 28. Carta de entrega de informe



Revisión: 02
Fecha: 01-01-2019
Página 1 de 1

CARTA

Lima, miércoles 03 de Abril

Carta N° 1903115A R - LAB/JSCAF

Atención: JULIA FUNES NAVARRO

Presente.

Por la presente tenemos a bien, hacerle entrega de los siguientes documentos:
Informe de Ensayo N° 1903115A , realizado por el Laboratorio R - LAB S.A.C.

Sin otro particular nos despedimos de usted, expresándole nuestra consideración y estima personal.

Atentamente.

Firma:
Nombre del que receptiona: Julia Funes Navarro
Fecha de entrega del Informe: 12-04-19

Fecha de Disposición final de los ítems de ensayo (Por R - LAB S.A.C.): _____

Revisado por: Juan de SCAI	Aprobado por: Manuel Román León CIP 44231 Gerente General, técnico y de calidad
-----------------------------------	--



DOCUMENTO NO CONTROLADO: PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA GERENCIA GENERAL
Calle Sierra N°100, Urb Portales de Javier Prado, 1° Piso, Ate, Teléfono 3514198 E-mail: rlaboratorio1@gmail.com

CamScanner

Figura 29. Informe de ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-103

LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE-103

INFORME DE ENSAYO N° 1903115A

Cliente	: JULIA ELADISLADA FUNES NAVARRO
Dirección del cliente	: PSJ. SAN ANDRES, MZ. I, LT. 11, VILLA MARIA DEL TRIUNFO
Usuario	: -
Lugar de Muestreo	: RÍO LURIN (DESENBCADURA DEL RÍO), ALTURA DE LA PANAMERICA SUR)
Tipo de Matriz y/o Producto	: AGUA NATURAL SUPERFICIAL-RÍO
Muestreo Realizado por	: EL CLIENTE
Procedimiento de Muestreo	: -
Referencia al Plan de Muestreo	: -
Número de Muestras	: 01
Fecha de Recepción	: 22-03-2019
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	22 -03-2019 al 29 -03-2019

Fecha de emisión: 03-04-2019



.....
Celso Roberto C. Arguando Arellano
Jefe de Laboratorio de FO
COP-779

F-IE-01
Revisión: 04
Fecha: 24-01-2019

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.
Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no
haya sido analizada. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
Ni la corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo".
Calle Berna N° 100, Urb. "Los Portales de Javier Prado" 1era Etapa, Lima-03 / Telf.: 6726333 / 972733385. Correo: laboratorio1@gmail.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-103



LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

Registro N° LE-103

INFORME DE ENSAYO N° 1903115A

Código de Laboratorio	1903115A-01			
Identificación de la Muestra	Mo			
Descripción del Punto de Muestreo	-			
Fecha y hora de muestreo	22-03-2019 (10:45)			
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -			
Tipo de Matriz y/o Producto	AGUA NATURAL SUPERFICIAL-RÍO			
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados
¹ Escherichia coli por Número más probable (NMP)	NMP/ 100mL	-	1,8	94 x 10 ³

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron refrigeradas al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en frasco de estenilizado.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendario luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ L.C.M. Límite de cuantificación del método, L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ El Informe de control de calidad será proporcionado a solicitud del cliente.
- ✓ [*] Método de ensayo no acreditado por el INACAL-DA.
- ✓ ¹ Ensayos realizados en la Sede de Ate-Lima ubicada en Calle Berna N° 100, Urb. Los Portales de Javier Prado 1ra Etapa, Ate-Lima
- ✓ ² Ensayos realizados en la Sede de Villa el Salvador-Lima Ubicada en Asoc. Cruz de Motupe, Mz. B, Lote 4, Villa el Salvador-Lima

F IE-02
Revisión: 05
Fecha: 24-01-2019

Tipo Ensayo	Norma de Referencia		Año de versión o Edición
	Código	Título	
Escherichia coli por Numero más probable (NMP)	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 9221 G-2, 23rd Ed	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group Other Escherichia coli Procedures Escherichia coli Test (Indole Production)	2017

Fin de documento

Celso Roberto Chisquillo Arellano
Jefe de Laboratorio de FO
CQP-779

Figura 31. Carta de entrega de informe



CARTA

Lima, miercoles 03 de Abril

Carta N° 1903116A R - LAB/JSCAF

Atención: JULIA FUNES NAVARRO

Presente.

Por la presente tenemos a bien, hacerle entrega de los siguientes documentos:

Informe de Ensayo N° 1903116A , realizado por el Laboratorio R - LAB S.A.C.

Sin otro particular nos despedimos de usted, expresándole nuestra consideración y estima personal.

Atentamente.



Juan de SCAAF
Jefe de SCAAF

Firma: _____

Nombre del que recepciona: _____

Fecha de entrega del Informe: _____

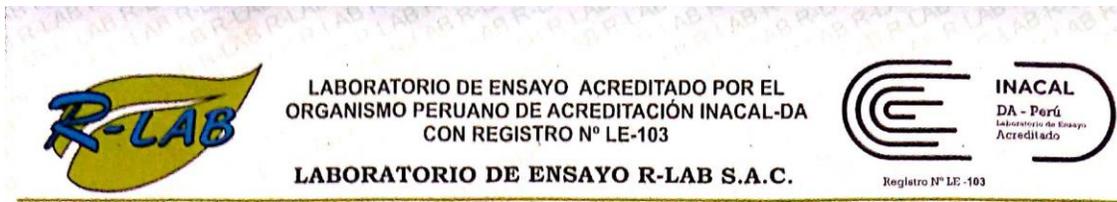
Julia Funes Navarro
12-04-19

Fecha de Disposición final de los items de ensayo (Por R - LAB S.A.C.): _____

Revisado por  Juan de SCAAF	Aprobado por  Gerente General, control y de calidad
--	---

DOCUMENTO NO CONTROLADO: PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA GERENCIA GENERAL
Calle Berna N° 100, Urb Portales de Javier Prado, 1° Piso, Ate, Teléfono 3514198 E-mail: laboratorio1@gmail.com

Figura 32. Informe de ensayo

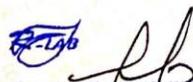


INFORME DE ENSAYO N° 1903116A

Cliente	: JULIA ELADISLADA FUNES NAVARRO
Dirección del cliente	: PSJ. SAN ANDRES, MZ. I, LT. 11, VILLA MARIA DEL TRIUNFO
Usuario	: -
Lugar de Muestreo	: RÍO LURIN (DESENBOCADURA DEL RIO), ALTURA DEL PUENTE - PANAMERICA SUR
Tipo de Matriz y/o Producto	: AGUA NATURAL SUPERFICIAL-RÍO
Muestreo Realizado por	: EL CLIENTE.
Procedimiento de Muestreo	: -
Referencia al Plan de Muestreo	: -
Número de Muestras	: 09
Fecha de Recepción	: 22-03-2019
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	22 -03-2019 al 29 -03-2019

F-IE-01
Revisión: 04
Fecha: 24-01-2019

Fecha de emisión: 03-04-2019


 Roberto Chuquimayo Arellano
 JEFE DE LABORATORIO DE FQ
 CCP - 779

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.
 Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no
 haya sido analizada. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 Toda modificación o emienda física al presente informe de ensayo será emitida con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo".
 Calle Berna N° 110, Urb. "Las Rosas de Lima", Lima, Perú. Teléfono: (01) 476-1111



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-103



LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

Registro N° LE-103

INFORME DE ENSAYO N° 1903116A

Código de Laboratorio	1903116A-01	1903116A-02	1903116A-03			
Identificación de la Muestra	TA1	TA2	TA3			
Descripción del Punto de Muestreo	-	-	-			
Fecha y hora de muestreo	22-03-2019 (13:15)	22-03-2019 (13:25)	22-03-2019 (13:50)			
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -			
Tipo de Matriz y/o Producto	AGUA NATURAL SUPERFICIAL- RÍO					
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados		
¹ Existentia coliformos: Número más probable (NMP)	NMP/100mL	-	1,8	2,4 x 10 ²	205	170

Código de Laboratorio	1903116A-04	1903116A-05	1903116A-06			
Identificación de la Muestra	TB1	TB2	TB3			
Descripción del Punto de Muestreo	-	-	-			
Fecha y hora de muestreo	22-03-2019 (17:30)	22-03-2019 (17:45)	22-03-2019 (18:10)			
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -			
Tipo de Matriz y/o Producto	AGUA NATURAL SUPERFICIAL- RÍO					
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados		
¹ Existentia coliformos: Número más probable (NMP)	NMP/100mL	-	1,8	33	27	4,5

Código de Laboratorio	1903116A-07	1903116A-08	1903116A-09			
Identificación de la Muestra	TC1	TC2	TC3			
Descripción del Punto de Muestreo	-	-	-			
Fecha y hora de muestreo	22-03-2019 (14:20)	22-03-2019 (14:35)	22-03-2019 (14:55)			
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -			
Tipo de Matriz y/o Producto	AGUA NATURAL SUPERFICIAL- RÍO					
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados		
¹ Existentia coliformos: Número más probable (NMP)	NMP/100mL	-	1,8	4,5	3	2

Notas:

- ✓ Condición e estado de la Muestra (a) Envasada (b) Las muestras llegaron refrigeradas al laboratorio.
- ✓ La (c) muestra(s) llegaron en frasco esterilizado.
- ✓ La (c) muestra (s) se mantendrá guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendario luego que haya sido entregado el informe de Ensayo a excepción de las muestras parciales.
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del resultado, L.D.M: Límite de detección del resultado.
- ✓ El informe de control de calidad será proporcionado a solicitud del cliente.
- ✓ (*) Método de ensayo no acreditado por el INACAL-DA.
- ✓ ¹ Ensayos realizados en la sede de Ate-Lima ubicada en Calle Sierra N° 100, Urb. Los Portales de Javier Prado 1ra Etapa, Ate-Lima.
- ✓ ² Ensayos realizados en la sede de Villa el Salvador-Lima Ubicada en Asoc. Cruz de Mitoque, Mo. B, Lote 6, Villa el Salvador-Lima.

F: 8-02
Revisión: 08
Fecha: 24-03-2009

ROBERTO CHUQUIMAYO ARELLANO
JEFE DE LABORATORIO DE FQ
COP - 775

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.
Los resultados presentados sólo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra entidad que no haya sido analizada. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitida con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo"
Calle Sierra N° 100, Urb. "Los Portales de Javier Prado" 1era Etapa, Lima-03 / Tel.: 6726533 / 97233385. Correo: rlaboratorio1@gmail.com