

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE MALA CALIDAD APLICANDO LA TÉCNICA DE MICROBURBUJAS DE AIRE PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA – CASO USO TEÓRICO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO RÍMAC”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autores:

Jackeline Abelina Lazo Carrera

Andrea Vilma Ruiz Limaymanta

Asesor:

Mg. Carlos Alberto Alva Huapaya

<https://orcid.org/0000-0002-0983-3151>

Lima – Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Iselli Josylin Nohely Murga Gonzalez	44362724
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	Kelly Milena Polo Herrera	41297911
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	Juan Carlos Flores Cerna	18898536
	Nombre y Apellidos	N° DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis LAZO CARRERA Y RUIZ LIMAYMANTA

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres Francisco y Flor, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio de ser su hija enseñándome los valores y principios para crecer como persona.

A mis hijas Jimena y Yaela por estar siempre presente, acompañándome y por ser los pilares de mi vida, motivándome a salir adelante y ser la guía para progresar y culminar esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Bryant y Stephany; y a mis familiares que me han ayudado y brindado su cariño incondicional.

Jackeline Abelina Lazo Carrera

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por darme salud, protegerme y guiarme en todo camino, dándome las fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mi padre Julián A. Ruiz O. por haberme guiado desde el cielo para no rendirme y luchar por mis sueños, a mi madre Vilma Limaymanta S. que es el motor de mi vida por estar siempre para mí, cuidándome y apoyándome en todas mis decisiones, gracias a ustedes logré llegar hasta aquí.

A mis hermanos y sobrinos por todo el aliento que me brindaron cuando me encontraba decaída y estar siempre a mi lado incondicionalmente enseñándome los valores y principios para crecer como persona.

A mis mejores amigos y compañeros del trabajo que creyeron en mí desde un inicio, orientándome y brindando su apoyo incondicional para ser perseverante con cada meta que me proponga.

Andrea Vilma Ruiz Limaymanta

AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo agradecemos a Dios por ser nuestro guía y acompañarnos en el transcurso de nuestras vidas, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas propuestas

A nuestros padres, por ser nuestros pilares fundamentales y habernos apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se nos presentaron.

A nuestros profesores de la Universidad Privada del Norte, por brindarnos sus consejos, enseñanzas y asesorías durante toda la etapa universitaria para que nos formemos profesionalmente.

Agradecemos a la Universidad Privada del Norte por abrirnos las puertas de sus instalaciones que nos ayudaron a potencializar nuestros conocimientos y ponerlos en práctica para este proyecto de tesis.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	6
TABLA DE CONTENIDO.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
RESUMEN.....	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Antecedentes	15
1.3. Bases Teóricas.....	19
1.4. Formulación del problema.....	22
1.5. Justificación.....	22
1.6. Objetivos.....	23

1.7. Hipótesis	24
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	25
2.1 Tipo de investigación	25
2.2 Población y muestra.....	26
2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos	28
2.4 Procedimiento y recolección de datos.....	31
2.5 Análisis de datos / Análisis estadístico.....	31
2.6 Aspectos éticos.....	34
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	35
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	70
4.1. Discusión.....	70
4.2. Limitaciones.....	72
4.3. Implicancias	73
4.4. Conclusiones	73
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS	81

Índice de tablas

TABLA 1. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUAS, CATEGORÍA 3 - RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES	21
TABLA 2. UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO RÍMAC	27
TABLA 3. MATERIALES EMPLEADOS POR ETAPAS	29
TABLA 4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN DE SALGUERO (2017)	32
TABLA 5. SIMILITUDES ENTRE LOS RÍOS RÍMAC Y CHILLÓN	35
TABLA 6. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA PARA CADA PARÁMETRO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AUTOR SALGUERO (2017)	36
TABLA 7. ESTIMACIONES DE MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	37
TABLA 8. ESTIMACIONES DE MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DE PH	39
TABLA 9. ESTIMACIONES DE MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	41
TABLA 10. PRUEBA T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS PARA LA VARIABLE DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	44
TABLA 11. RESULTADOS DE LA PRUEBA T PARA LA VARIABLE DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).....	45

TABLA 12. PRUEBA T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS PARA LA VARIABLE DE PH.....	47
TABLA 13. RESULTADOS DE LA PRUEBA T PARA LA VARIABLE DE PH	48
TABLA 14. PRUEBA T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS PARA LA VARIABLE DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	50
TABLA 15. RESULTADOS DE LA PRUEBA T PARA LA VARIABLE DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	51
TABLA 16. ESTIMACIONES DE MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO) PARA EL TIEMPO DE 15 MINUTOS.	57
TABLA 17. ESTIMACIONES DE MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DE PH PARA EL TIEMPO DE 15 MINUTOS.	60
TABLA 18. ESTIMACIONES DE MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA PARA EL TIEMPO DE 15 MINUTOS.	64
TABLA 19. PRUEBA T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS PARA LOS PARÁMETROS DE DBO, PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	68
TABLA 20. RESULTADOS DE LA PRUEBA T PARA LAS VARIABLES DE LA DBO, PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	69
TABLA 21. MATRIZ OPERACIONAL DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.....	82
TABLA 22. MATRIZ OPERACIONAL DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	83

Índice de figuras

FIGURA 1. MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC	26
FIGURA 2. COMPARACIÓN DE LA MUESTRA INICIAL Y MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DBO EN LOS TRES INTERVALOS DE TIEMPO (5, 10 Y 15 MINUTOS).....	46
FIGURA 3. COMPARACIÓN DE LA MUESTRA INICIAL Y MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO PH EN LOS TRES INTERVALOS DE TIEMPO (5, 10 Y 15 MINUTOS).....	49
FIGURA 4. COMPARACIÓN DE LA MUESTRA INICIAL Y MUESTRA TRATADA PARA EL PARÁMETRO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LOS TRES INTERVALOS DE TIEMPO (5, 10 Y 15 MINUTOS).....	52
FIGURA 5. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS TRATADAS CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL PARÁMETRO DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).	53
FIGURA 6. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS TRATADAS CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL PARÁMETRO DE PH.....	54
FIGURA 7. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS TRATADAS CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL PARÁMETRO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.	55
FIGURA 8. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS INICIALES Y TRATADAS DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE LA ANA EN UN TIEMPO DE 15 MINUTOS PARA EL PARÁMETRO DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	58
FIGURA 9. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS MUESTRAS INICIALES Y TRATADAS CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL PARÁMETRO DE LA DBO.	59
FIGURA 10. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS INICIALES Y TRATADAS DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE LA ANA EN UN TIEMPO DE 15 MINUTOS PARA EL PARÁMETRO DE PH.....	62

FIGURA 11. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS MUESTRAS INICIALES Y TRATADAS CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL PARÁMETRO DE PH.63

FIGURA 12. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS INICIALES Y TRATADAS DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE LA ANA EN UN TIEMPO DE 15 MINUTOS PARA EL PARÁMETRO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....66

FIGURA 13. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS MUESTRAS INICIALES Y TRATADAS CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL PARÁMETRO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....67

RESUMEN

El incremento de contaminantes en las aguas del río Rímac que alteran su calidad es alarmante, por lo que en la actualidad se están empleando tratamientos para disminuir su polución, es por ello que esta investigación tiene como objetivo analizar de forma teórica la eficiencia del tratamiento de las micro burbujas de aire para mejorar la calidad del agua en la cuenca baja del río Rímac basada en un trabajo no experimental - longitudinal en base a monitoreos de la ANA entre los años 2013 al 2019, donde se seleccionaron veinticinco muestras de agua, para luego ser sometidas a estimaciones de pruebas estadísticas, según las eficiencias del tratamiento del autor Salguero (2017), que nos permitieron determinar valores para las muestras tratadas en conjunto con la ecuación de James Watts y el análisis estadístico (T-Student). Concluyendo según los resultados que existe una remoción del 33.91 % para la DBO y de 102.95 % para pH, sin embargo para la conductividad eléctrica no se evidenció remoción de contaminantes, por esto el avance de las nuevas tecnologías ayuda con la reducción en parámetros físicos, químicos y biológicos y para los de campo se podrían utilizar otras alternativas como la de microorganismos inoculados.

Palabras clave: Micro burbujas, tratamiento, muestra control y aguas residuales.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El agua es un recurso natural muy importante y abundante en el mundo, donde las actividades antropogénicas y naturales provocan un efecto alterando la calidad de forma directa e indirecta, en la actualidad las aguas superficiales se encuentran en un estado crítico debido a la falta de tratamiento, que es un tema importante y alarmante a nivel mundial por los contaminantes que contiene, perjudicando al hombre y al ambiente.

La descarga de los efluentes sin un previo tratamiento es una mezcla de residuos sólidos, materia inorgánica y orgánica, donde mayormente presentan elementos y sustancias que contienen características químicas, físicas, y bacteriológicas alterando las condiciones del cuerpo receptor, provocando daños al ecosistema acuático y a la salud de las personas ya que estas aguas nacen desde la cuenca alta y arrastran todo a su paso hasta llegar a desembocar en el mar.

Un claro ejemplo se da en Perú, en el río Rímac se ve diariamente que es contaminado por tres factores muy importantes, el primero de ellos es el arrojado de residuos sólidos originado por la actividad humana, segundo la falta de tratamiento previo de aguas servidas y por último los relaves mineros que se encuentran en la parte alta de la cuenca, llegando a un alto nivel de contaminación al cuerpo receptor (Sedapal, 2019).

El análisis químico, físico y bacteriológico que se realizó en las aguas superficiales del río Rímac durante el año 2012 se detectó que los parámetros de la DBO, Aceites y Grasas, Coliformes y algunos metales presentan una alta carga de contaminantes que sobrepasan los estándares de la

calidad ambiental y también las aguas descargadas al río presentan un alto grado de contaminación con un 22.90 mg/L de DBO y para Aceites y Grasas un 8.46mg/L (Ancieta, 2012).

Por lo tanto, hoy en día, aunque exista una mayor fiscalización por parte del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Rímac se encuentran alteradas por lo que no se logra cumplir con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua (ECA AGUA).

En ese sentido, el presente trabajo de investigación muestra la eficiencia de la técnica del tratamiento de micro burbujas de aire de forma teórica, para poder mejorar la calidad del agua de la cuenca baja del río Rímac, demostrando el cumplimiento de la normativa ambiental del agua; así mismo, esta investigación sea considerada como un enriquecimiento para futuras investigaciones en el mejoramiento de la calidad de aguas superficiales.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Internacionales

Hernández (2019) en su trabajo de investigación *“Efectos de Micro y Nano Burbujas en Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas - El caso de Pasca, Cundinamarca”*, tiene como objetivo aplicar como tratamiento secundario la inyección de las micro y nano burbujas ya que el primer tratamiento para la eutrofización completa consta de aplicar microorganismos inoculados para un tratamiento completo a la laguna de oxidación del municipio de Pasca, que mediante el análisis de un período de 10 días, cada 4 horas se realizaba una inyección de micro y nano burbujas que duraba 2 minutos, en 3 muestras de agua y cada una de ellas contenía 25 litros, donde pudo obtener como resultado una reducción del 75% en los parámetros de DQO, nitritos, nitratos,

sólidos sedimentables, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad y pH, concluyendo así la eficiencia del tratamiento de micro nano burbujas como un conjunto de procedimientos junto con la activación biológica de microorganismos.

Domínguez y León (2019) en su trabajo de titulación *“Elaboración de un modelo físico a escala de laboratorio y su guía metodológica para el ensayo de separación de grasas y aceites, de la materia de Hidrosanitaria de la Universidad del Azuay”*, donde su objetivo fue de remover los contaminantes en los aceites y grasas en aguas residuales domésticas, por lo que se desarrolla varios tipos de tratamientos donde primero es la filtración a vacío que se trata de agitadores para generar microburbujas en un tiempo de 30 segundos, lo cual se genera espuma y se retira sacándole a la superficie, luego por flotación por aire disuelto que mediante un tanque presurizado se generará burbujas más finas para que las aceites y grasas se coloquen en la superficie donde se obtienen resultado de remoción un 80 %.

Calderón y Meza (2021) en su trabajo de titulación *“Diseño una propuesta para la optimización de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria farmacéutica”*, que su objetivo fue de que antes de verter sus aguas con desechos químicos al alcantarillado debido a la elaboración de productos farmacéuticos, se lleva a cabo el tratamiento de introducción de microburbujas ozonizadas para la eliminación de estos fármacos tóxicos obteniendo como resultado una gran cantidad de remoción de contaminantes del 50 %, concluyendo así la eficiencia de la aplicación del tratamiento para reducir el nivel de estos contaminantes.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Abate (2018) en su tesis de titulación *“Reducción de coliformes fecales del agua de mar mediante micronanoburbujas de ozono y aire de la playa Los Pavos, Barranco”*, tuvo como objetivo aplicar el tratamiento de micronanoburbujas de aire para reducir la concentración de coliformes fecales en el mar, mediante un estudio experimental aplicando una presión de aire 90 PSI con un flujo de agua de 4.67 L/min, con tres escalas diferentes: 3 Agua de mar/ 1 agua con MNBs, 1 Agua de mar/ 1 agua con MNBs y por último 1 Agua de mar /3 agua con MNBs, concluyendo la eficiencia del tratamiento reduciendo los coliformes fecales en 96%, 94.36 % y 90.7% al aplicarlas en agua de mar.

Macassi (2017) en el desarrollo de su tesis de titulación *“Comportamiento del sistema de nanoburbujeo en el tratamiento para reducir los niveles de contaminación de aguas residuales domésticas de la provincia de Concepción”*, su objetivo fue demostrar que para el crecimiento de organismos biológicos se deben de utilizar difusores de nanoburbujas para que se pueda remover la carga orgánica, ya que la burbuja fina suministra oxígeno a estos organismos, por lo tanto, en su estudio demostró que realizó diferentes tiempos de inyección y fueron de 2,4,6,8 y 10 horas, dando como resultados que en 2 horas solo se llegó a remover un 0.87% de DQO, mientras que en el tiempo de 8 horas tuvo una remoción del 79.92% de DQO, y en el tiempo de 10 horas no hubo un incremento significativo por lo que se concluyó que el tiempo óptimo es el de 8 horas para poder disminuir la cantidad del contaminante.

Vicente (2017) en su trabajo de tesis *“Remoción de plomo y zinc de los efluentes mineros provenientes de la Unidad Mallay aplicando micro-nanoburbujas de aire”* el objetivo fue de que

este tratamiento pueda remover concentraciones de estos metales pesados que son altamente contaminantes y se encuentran presentes en los efluentes mineros, el cual se analizó extrayendo 54 litros de muestra y lo dividió en 3 partes, por lo que cada una contenía 18 litros, y aplicó el tratamiento tres veces seguidas en un tiempo diferente para cada una y fue de 10 ,15 y 20 min, donde finalmente se puede concluir que el mejor tiempo para una mayor remoción de plomo y zinc es en el periodo de 15 minutos porque llegó a remover 1,29 mg/L de plomo y de zinc fue 0,26 mg/L.

1.2.3. Antecedentes Locales

ANA (2019) en su investigación *“Monitoreo de calidad del agua del río Rímac para su protección”* tiene como objetivo realizar monitoreos anuales en la cuenca del río Rímac que recibe varias fuentes de contaminación que están asociados a las actividades que realiza el hombre. por ello se analizaron 25 puntos que se encuentran localizados en la cuenca alta, media y baja del río, observando parámetros físicos, químicos y microbiológicos entre los cuales se encuentran: pH, DBO₅, DQO, aceites, grasas, SST, metales totales y coliformes termotolerantes, donde se concluye la excedencia de sus valores establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua, aprobado en el DS 004-2017-MINAM y siguiendo el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, aprobado mediante RJ 010-2016-ANA.

Salguero (2017) describe en su trabajo de tesis la *“Reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las muestras de agua de la cuenca baja del Río Chillón mediante micronanoburbujas de Aire y Ozono en el distrito de Ventanilla-Callao 2017”* su objetivo fue de remover la Demanda Bioquímica de Oxígeno para lidiar con la problemática del vertimiento de

aguas residuales e industriales que va directo al río Chillón afectando la vida acuática y al distrito Chuquitanta que hace uso de este mismo aplicando la metodología de micronanoburbujas ; dando como resultados la reducción de un 66.09 % de efectividad en un tiempo límite de 15 minutos de las concentraciones la Demanda Bioquímica de Oxígeno, concluyendo que si llega a disminuir gran parte de los contaminantes en aguas negras y que si se dejara en un mayor tiempo se podría obtener una eficiencia del 100 %.

Menéndez (2017) en su trabajo de tesis *“Eficiencia de las micro-nano burbujas de ozono-aire para mejorar la calidad de las aguas residuales hospitalarias, Lima”* tuvo como objetivo de realizar tres pruebas donde la primera se realizó en un tiempo de 0 a 5 min, la segunda de 5 a 10 y la tercera de 10 a 15 minutos en cada uno se aplicó el tratamiento de micro burbujas que debido a que se encuentran en un estado coloidal que contienen cargas negativas y esto hace que funcione como un imán para atraer así a los contaminantes, donde obtuvo como resultado la remoción de DBO₅ en un 78.75%, DQO₅ un 85.8%, SST en 79.4%, Conductividad eléctrica en un 24.5% y para la turbiedad en 88.2%, dando como eficiente el tratamiento.

1.3. Bases Teóricas

1.3.1. Contaminación del agua

Según MINAM (2016) indica que la acumulación de sustancias dañinas puede ser físicas, químicas o biológicas y que alteran la calidad del agua ya que son derramadas a lo largo del sistema hídrico ya sea un río, mar, cuenca, laguna, etc., provocando la alteración del curso de agua y teniendo impactos en la salud, ambiente y la biodiversidad acuática, por ello es importante el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental.

1.3.2. Aguas Residuales

Es cuando el curso de agua o cualquier cuerpo hídrico se ven afectados negativamente en su calidad, por la alta demanda de consumo y por actividades antropogénicas o naturales generando el aumento en su volumen, provocando así que este recurso se vea afectado por contaminantes. (UNESCO, 2017)

1.3.3. Micro-burbujas

Las micro burbujas son pequeñas cavidades de aire que tienen un diámetro de aire a 100 μm , su gran desarrollo y diversidad de aplicaciones ha logrado que esta nueva tecnología sea variada en los tratamientos de agua, industrias alimentarias, procesos farmacéuticos entre otros. (Sanchez, 2017)

1.3.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Según el MINEM (1983) señaló que “La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno usado por las bacterias bajo condiciones aeróbicas en la oxidación de materia orgánica para obtener CO_2 y H_2O . Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la materia orgánica biodegradable.” (MINEM, 1983 p. 7)

1.3.5. Aceites y grasas

Son aquellas sustancias de origen vegetal o animal, con mezclas de ésteres de la glicerina con ácidos grasos más conocidos como triglicéridos, cada una de ellas representa una composición, propiedades y estado diferente como son los aceites líquidos y grasos que son los sólidos (Lapeña, 1989).

1.3.6. Normativa Ambiental

- **Decreto Supremo N°- 004 - 2017 - MINAM “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas”, Categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales**

Establece el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor.

Tabla 1.

Estándares nacionales de calidad ambiental para aguas, categoría 3 - riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros físicos – químicos	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido ©	Agua para riego restringido
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	15	15
Conductividad	(μ S/cm)	2500	5000
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4

Nota: Esta tabla contiene los valores máximos que deben tener los parámetros físico-químicos para la evaluación de la calidad de aguas, categoría 3 – riego de vegetales y bebida de animales del MINAM.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

- ¿Cuál es la eficiencia en el tratamiento de aguas de mala calidad aplicando la técnica de micro burbujas de aire para la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pH y conductividad eléctrica, basado en uso teórico en la cuenca baja del río Rímac?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la eficiencia de la técnica de micro burbujas de aire para los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica en el tratamiento de las aguas de mala calidad?
- ¿Cuál sería el tratamiento de aguas de mala calidad con la técnica de micro burbujas de aire?

1.5. Justificación

Esta investigación tiene una justificación práctica que es el uso de tecnologías emergentes, siendo una de ellas la aplicación del tratamiento de micro burbujas de aire, que mediante la recopilación de investigaciones se obtuvo la eficiencia de este proceso y así poder aplicar de forma teórica en los muestreos obtenidos de la Autoridad Nacional del Agua de la cuenca baja del río Rímac, evidenciando teóricamente la reducción en las concentraciones de parámetros bioquímicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y físicos (pH y conductividad eléctrica) para el mejoramiento de la calidad de las aguas superficiales del río Rímac.

Igualmente presenta una justificación social, ya que deben de realizarse planes de acción para reducir la concentración de contaminantes de las aguas de mala calidad, siendo necesario que haya tratamientos para mejorar la calidad de estos efluentes y así poder abastecer a toda la población de Lima Metropolitana y mantener el ecosistema acuático del río Rímac.

El presente trabajo de investigación se justifica por lograr la recuperación de aguas de mala calidad, así también conocer la eficiencia del uso de micro burbujas de aire para tratamientos de aguas contaminadas, de esta manera obtener buena remoción de los parámetros biológicos y físicos como para la recuperación de la calidad de aguas superficiales de una cuenca hidrográfica.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

- Determinar la eficiencia en el tratamiento de aguas de mala calidad aplicando la técnica de micro burbujas de aire para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica, basado en uso teórico en la cuenca baja del río Rímac.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la eficiencia de la técnica de micro burbujas de aire para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica en el tratamiento de las aguas de mala calidad.
- Analizar el tratamiento de aguas de mala calidad con la técnica de micro burbuja de aire aplicando su uso teórico en la cuenca baja del río Rímac.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General

- La eficiencia del tratamiento de micro burbujas de aire reduce la concentración de DBO, conductividad eléctrica y pH en aguas de mala calidad de la cuenca baja del río Rímac.

1.7.2. Hipótesis específicas

- El tratamiento de micro burbujas de aire es muy eficiente para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica de las aguas de mala calidad.
- La técnica de micro burbujas de aire para el tratamiento de agua de mala calidad será eficiente en la aplicación como uso teórico en la cuenca baja del río Rímac.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Determinar qué tipo de investigación se aplicará es de vital importancia ya que nos da un amplio alcance de lo que se aspira en el proceso de la investigación y a lo que se quiere demostrar Mejía, Reyes y Sánchez (2018) indica que “el diseño de investigación es el modelo que adopta el investigador para precisar un control de las variables del estudio” (p.53). Es por ello, que nuestra investigación es de tipo cuantitativa ya que buscamos analizar las hipótesis formuladas anteriormente, por medio de una búsqueda de trabajos de investigación de tesis y comprobar la eficiencia del tratamiento de micro- burbujas de aire para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica, aplicando diferentes fórmulas matemáticas y herramientas de software de manera teórica.

2.1.1. Diseño de la investigación

Según Hernández-Sampieri y Mendoza, (2018) existe el diseño experimental y el diseño no experimental (p. 81). En las cuales dependerá la elección del tipo de diseño en base a la manipulación de las variables. “En un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien lo realiza.” (Hernández, 2014, p. 185). Es por ello que nuestra investigación es no experimental - longitudinal ya que por medio de una recopilación de estudios ya existentes a nivel nacional se tomaron datos de la eficiencia de la aplicación del tratamiento de micro burbujas para que de esta manera se pueda comprobar, por medio de una posterior evaluación, la eficiencia en el tratamiento de aguas de mala calidad basado en uso teórico en la cuenca baja del río Rímac.

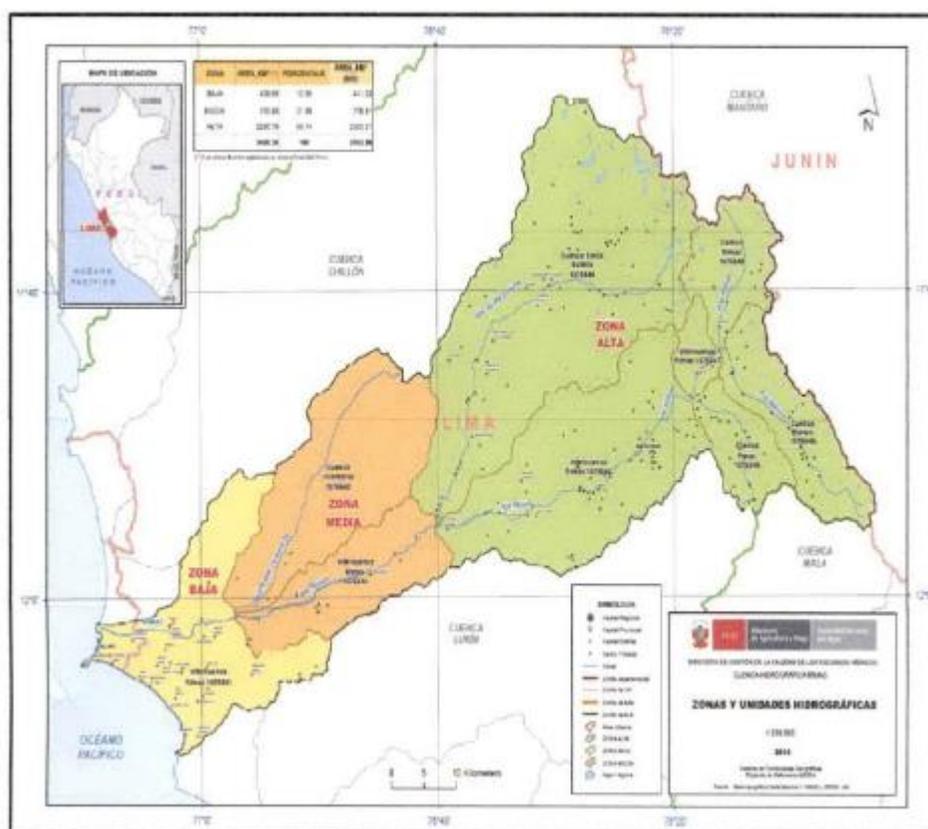
2.2 Población y muestra

2.2.1. Población

Aguas del río Rímac, que pertenece a la vertiente del pacífico con una longitud de 160 km y una cuenca de 3.312. km², distrito de Callao, provincia de Callao

Figura 1.

Mapa de la cuenca del río Rímac



Nota: En la figura se puede apreciar la delimitación de la cuenca del río Rímac, que fue obtenido en los informes técnicos de la Autoridad Nacional del Agua (2018, p. 8)

2.2.2. Muestra

Estaciones de muestreo de aguas superficiales de la cuenca baja del río Rímac que cubre una longitud de 27.19 km. De acuerdo a lo especificado en la Tabla 2 y Anexo 01

Tabla 2.

Ubicación de la Estación de Monitoreo de calidad de agua en la cuenca baja del Río Rímac

Estación de monitoreo de calidad de agua de la ANA	Descripción del punto	Coordenadas UTM-WSG 84 (Zona 18)	
		ESTE	NORTE
RRima-9	Río Rímac (MD), Bocatoma de la Planta de tratamiento de agua potable Huachipa	295243	8671750
RRima-10	Río Rímac (MD), Bocatoma 1, Planta de tratamiento de agua potable La Atarjea	286001	8669758
RRima-11	Río Rímac (MD), Bocatoma 2, Planta de tratamiento de agua potable La Atarjea	285974	8669821
RRima-12	Río Rímac (MI), 200 m abajo del puente Universitaria, Av. Morales Suarez (Parque)	273 430	8 668 596
Rrima-13	Río Rímac (MD), 20 m aguas arriba del puente Néstor Gambeta.	268 443	8 668 505

Nota: Esta tabla contiene la ubicación exacta y las coordenadas UTM de los cinco estaciones de monitoreos que realizó la Autoridad Nacional del Agua en la cuenca baja del río Rímac.

2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Materiales

Para un adecuado procedimiento en el presente trabajo de investigación, se procedió a separar en etapas el desarrollo de la metodología para un mayor entendimiento, donde se mencionan los materiales que son las fuentes bibliográficas y los instrumentos como las ecuaciones que se presentan a continuación.

Recolección de fuentes bibliográficas: En la presente investigación se opta por emplear de forma de uso teórico el tratamiento de micro burbujas, por ello es que en primera instancia se comienza a recolectar toda la información de varios artículos científicos de revistas indexadas, trabajos de investigación de tesis pre y postgrado internacionales y nacionales, así también información de monitoreos participativos anuales de la Autoridad Nacional del agua.

Valoración y Análisis de las fuentes bibliográficas: Aquí se utilizó los siguientes informes técnicos de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua: (Informe técnico N° 073-2014-ANA.AAA.CF-ALA-CHRL/JLTV; N.º 085-2015-ANA-AAA.CF/ SDGCRH, N.º 241.2017-ANA-AAA.CF-ALA-CHRL-ATC.LLC, N.º 639-2018-ANA-AAA.CF.ALA-CHRL, Monitoreo 2019-II); esta información fue obtenida del Repositorio Digital de Recursos Hídricos que se encuentran en la página web de la ANA.

Tabla 3.

Materiales empleados por etapas

Fases	Materiales
Recolección de fuentes bibliográficas	Laptop ASUS Intel Core I5
	Libreta de apuntes
	Lápiz
	Fuentes bibliográficas
	Microsoft office Excel
	Microsoft office Word
	One Drive
Valoración y Análisis de las fuentes bibliográficas	Repositorios confiables
	Laptop ASUS Intel Core I5
	Libreta de apuntes
	Calculadora científica
	Lápiz
	Fuentes bibliográficas
	Microsoft office Excel
Microsoft office Word	
One Drive	

Nota: Esta tabla contiene los materiales utilizados que fueron necesarios para la elaboración de la investigación, desarrollada por la etapa de recolección de fuentes bibliográficas, valoración y análisis de las fuentes bibliográficas.

2.3.2 Instrumentos

Se utilizó como instrumento la ecuación de la eficiencia de James Watt, que fue registrada como patente el 4 de julio de 1782 con el nombre de New improvements upon steam engines – expansive and double acting, el cual fue creada para determinar la eficiencia de una máquina de vapor; que consistía en llenar de agua una caldera, para que al momento de ser calentada se produzca el vapor, ejerciendo una presión necesaria para que así el pistón pueda abrirse y cerrarse y así generar un movimiento de rotación en la máquina, por lo que se asemeja al funcionamiento del generador de micro burbujas del trabajo de investigación de Salguero (2017) ,debido a que gracias a una fuerza en este caso la bomba eléctrica de agua que trabaja en conjunto con la compresora de aire, hacen que haya un impulso para que el agua tenga la suficiente presión y pueda circular por los tubos, permitiendo que haya una generación de micro burbujas que se encuentran en estado coloidal para que estas atrapen a los contaminantes y se pueda remover la carga.

Así mismo, se utilizó como instrumento el Microsoft office Excel para aplicar la técnica de T- Student a los resultados de los datos obtenidos de la eficiencia del tratamiento de aguas de micro burbujas de aire, para poder ser evaluados de forma teórica y poder determinar el nivel de remoción en las aguas de mala calidad, en cumplimiento con la normativa de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua - categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, aprobado por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

2.4 Procedimiento y recolección de datos

El procedimiento de análisis de datos en la presente investigación ha sido constituido por una serie de etapas ya mencionadas anteriormente, por las que ha permitido llegar a obtener mejores resultados en la determinación de la eficiencia del tratamiento de aguas de mala calidad, consta de una serie de etapas que permitirán llevar a cabo mejores resultados para la comparación del tratamiento planteado.

Donde primero fue necesario identificar la ubicación e identificación del lugar, que fueron seleccionadas del repositorio de la web de la ANA de los años del 2013 al 2019 ya que cuentan con los resultados de las muestras iniciales de la DBO, pH y conductividad electricidad, por lo tanto, se pudo evidenciar que en la parte de la cuenca baja se encuentran cinco estaciones llamadas RRima-9, RRima-10, RRima-11, RRima-12 y RRima-13.

Por ello en el análisis documental de las tesis de pre y post grados, nos enfocamos en dos de ellas (Salguero y Menéndez) ya que estas cuentan con la información necesaria para poder aplicar la ecuación de James Watt y T-Student para poder hallar la eficiencia del tratamiento de micro burbujas en las aguas de mala calidad de la cuenca baja del río Rímac.

2.5 Análisis de datos / Análisis estadístico

En esta parte del trabajo de investigación de análisis de datos elaboramos la parte cuantitativa del trabajo donde consta de analizar las muestras que fueron obtenidas del repositorio de la ANA y utilizar en primera instancia la ecuación de James Watt para hacer un comparativo de las muestras iniciales y las muestras tratadas con la técnica de las micro burbujas de aire.

En base a los datos propuestos en la investigación de Salguero (2017) y Menéndez (2017) se optó por trabajar con los resultados de Salguero para determinar la estimación de las muestras de agua tratada, por ello se aplicará la siguiente ecuación de eficiencia para cada parámetro establecido en el trabajo de investigación (DBO, pH y conductividad eléctrica).

Fórmula de Eficiencia del tratamiento:

Eficiencia del tratamiento:

$$x = \left(1 - \frac{\text{muestra tratada}}{\text{muestra control}} \right) \times 100$$

Nota: Ecuación de James Watt

Tabla 4.

Resultados obtenidos de la eficiencia del tratamiento de la investigación de Salguero (2017)

Parámetros	Tiempo		
	5'	10'	15'
DBO	61.46%	63.97%	66.09%
pH	-1.26%*	-2.52%*	-2.95%*
Conductividad Eléctrica	-3.60%*	-6.30%*	-5.65%*

Nota: En la tabla se presentan las eficiencias que fueron obtenidas después de haber aplicado el tratamiento de micro burbujas para los parámetros de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO),

pH y Conductividad Eléctrica en los tiempos de 5,10 y 15 minutos de la investigación que desarrolló Salguero (2017).

Se evidencia que existen valores negativos en la eficiencia que se obtuvieron en los parámetros de pH, más no se debe interpretar a que el tratamiento no sea eficiente, sino que se debe a que el promedio de las muestras tratadas que se obtuvieron de Salguero (2017) son valores más altos que el promedio del muestreo inicial. Sin embargo, para el parámetro de conductividad eléctrica es todo lo contrario.

Para la estimación de las muestras tratadas del tratamiento se utilizará la eficiencia ya hallada en la investigación de Salguero (2017) y se aplicará la fórmula de James Watts en donde se despejará la variable muestra tratada siendo remplazada por el valor “Y” obteniendo la siguiente fórmula:

$$\text{Fórmula de Estimación de muestras tratadas } Y = \left(1 - \frac{\text{Eficiencia}}{100} \right) \times \text{muestra control}$$

Mientras que, para el Análisis estadístico, utilizamos la Metodología de T-Student que sirve para desarrollar el procesamiento de datos del trabajo de investigación basado en la estadística descriptiva. Así mismo, nos permitirá realizar el cálculo de las técnicas estadísticas para la estimación de la remoción de muestras tratadas por el generador de micro burbujas tomadas de la cuenca baja del río Rímac, determinando la eficiencia del tratamiento planteado con la remoción de la concentración de los parámetros físicos (pH y conductividad eléctrica) y químico (Demanda Bioquímica de Oxígeno) con una confiabilidad de 0.05 (5%) y una precisión más exacta.

2.6 Aspectos éticos

El desarrollo de nuestro estudio de investigación no atenta con los elementos del ecosistema, tanto a los componentes bióticos y abióticos que se encuentran alrededor del área de estudio, esto se debe a que se está desarrollando de forma teórica en base a los datos obtenidos de otros investigadores, mediante un prototipo inicial de laboratorio para verificar la eficiencia que produce el generador de micro burbujas y luego pueda ser implementado a gran escala.

Por otro lado, es importante recalcar que el estudio se realizó con técnicas e instrumentos validados, obtenidos como referencia de la selección de artículos, siguiendo los criterios de buenas prácticas respetando la autoría de los investigadores que se seleccionaron debido a su relevancia científica. Así también, se aplicó las normas APA (American Psychological Association) para el proceso de redacción de la investigación permitiendo que nuestros argumentos expuestos tengan un mayor grado de confiabilidad.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Evaluación de la eficiencia de la técnica de micro burbujas de aire para los parámetros de DBO, pH y conductividad.

Para poder obtener los datos de la estimación de las muestras tratadas en nuestra investigación, se tomará como base los datos de la eficiencia del tratamiento de micro burbujas que se obtuvo del autor Salguero (2017) en el río Chillón para que sea aplicado en nuestra población que pertenece a la cuenca baja del río Rímac.

Luego de hacer un estudio comparativo entre los ríos Chillón y Rímac se puede identificar que reúnen las mismas características climatológicas, geomorfológicas y topográficas.

Por ese motivo se empleó un método regional, dando referencia a esas semejanzas, se utilizaron los datos de investigación para determinar la eficiencia experimental del tratamiento de micro burbujas de aire en el análisis sistemático de Salguero (2017). Donde se verá reflejado en la Tabla 5.

Tabla 5.

Similitudes entre los ríos Rímac y Chillón

SIMILITUDES ENTRE LOS RÍOS RIMAC Y CHILLÓN	
Geológicas	<ul style="list-style-type: none">• La formación de sus tierras se da por paquetes de rocas sedimentarias y volcánicos denominado por el bartolito de la costa.
Climatología	<ul style="list-style-type: none">• Existe mayor acumulación de lluvias en los meses de diciembre a marzo• Los periodos de estiaje se dan entre mayo y agosto
Topográficas.	<ul style="list-style-type: none">• En las cuencas media y alta la topografía es accidentada y con pendientes empinadas con aproximadamente más de 1000 metros de altura.

Nota: En la siguiente tabla se pueden identificar las similitudes de las características geológicas, climatológicas y topográficas entre los ríos Rímac y Chillón, que nos permite utilizar los datos de la eficiencia del tratamiento aplicado en el río Chillón de Salguero (2017) a nuestra investigación que tiene como población el río Rímac. Datos fueron obtenidos en informes técnicos de la ANA.

En base a los resultados obtenidos del estudio del tratamiento de micro burbujas de Salguero (2017), se obtienen las siguientes eficiencias en los siguientes intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 minutos de los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH y conductividad eléctrica. Tabla 6.

Tabla 6.

Resultados de la eficiencia para cada parámetro de la investigación del autor Salguero (2017)

	DBO			pH			Conductividad Eléctrica		
Tiempo de tratamiento	5´	10´	15´	5´	10´	15´	5´	10´	15´
Eficiencia	1.46	3.97	6.09	1.26	2.52	2.90	3.60	6.30	5.65

Nota: En la siguiente tabla se puede evidenciar la eficiencia obtenida de la investigación de Salguero (2017) para los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica en los tiempos establecidos por 5, 10 y 15 minutos.

Obteniendo los datos de la eficiencia para cada parámetro según el tiempo de la aplicación del tratamiento de Salguero (2017), se procedió aplicar la ecuación de James Watts a los resultados

de la calidad de agua superficiales, provenientes de las cinco estaciones de monitoreo de los años del 2013 al 2019, que fueron obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en la cuenca baja del río Rímac.

A través de los resultados que brinda la ecuación de James Watts con la variable “Y”, se obtuvo los valores teóricos del agua tratada aplicado para cada estación de monitoreo.

$$Y = \left(1 - \frac{\text{Eficiencia}}{100} \right) \times \text{muestra control}$$

En las siguientes tablas se representarán los valores de la muestra inicial, muestra tratada y la eficiencia por cada parámetro en los intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 minutos.

Tabla 7.

Estimaciones de muestra tratada para el parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Estaciones	N° Muestra	DBO								
		5 min			10 min			15 min		
		Muestra Inicial	Muestra Tratada	Eficiencia	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Eficiencia	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Eficiencia
Rrima-9 (2013)	1	<2	-	61.46	<2		63.97	<2		66.09
Rrima-10 (2013)	2	4.15	1.60	61.46	4.15	1.50	63.97	4.15	1.41	66.09
Rrima-11 (2013)	3	3.56	1.40	61.46	3.56	1.28	63.97	3.56	1.21	66.09
Rrima-12 (2013)	4	7.11	2.74	61.46	7.11	2.56	63.97	7.11	2.41	66.09

Rrima-13 (2013)	5	8.03	3.09	61.46	8.03	2.89	63.97	8.03	2.72	66.09
Rrima-9 (2015)	6	<3	-	61.46	<3		63.97	<3		66.09
Rrima-10 (2015)	7	<3	-	61.46	<3		63.97	<3		66.09
Rrima-11 (2015)	8	<3	-	61.46	<3		63.97	<3		66.09
Rrima-12 (2015)	9	17.00	6.55	61.46	17.00	6.13	63.97	17.00	5.76	66.09
Rrima-13 (2015)	10	9.00	3.47	61.46	9.00	3.24	63.97	9.00	3.05	66.09
Rrima-9 (2017)	11	< 2	-	61.46	< 2		63.97	< 2		66.09
Rrima-10 (2017)	12	< 2	-	61.46	< 2		63.97	< 2		66.09
Rrima-11 (2017)	13	< 2	-	61.46	< 2		63.97	< 2		66.09
Rrima-12 (2017)	14	4.00	1.54	61.46	4.00	1.44	63.97	4.00	1.36	66.09
Rrima-13 (2017)	15	11.00	4.24	61.46	11.00	3.96	63.97	11.00	3.73	66.09
Rrima-9 (2018)	16	< 2	-	61.46	< 2		63.97	< 2		66.09
Rrima-10 (2018)	17	< 2	-	61.46	< 2		63.97	< 2		66.09
Rrima-11 (2018)	18	< 2	-	61.46	< 2		63.97	< 2		66.09
Rrima-12 (2018)	19	20.00	7.71	61.46	20.00	7.21	63.97	20.00	6.78	66.09
Rrima-13 (2018)	20	67.00	25.82	61.46	67.00	24.14	63.97	67.00	22.72	66.09
Rrima-9 (2019)	21	2.00	0.77	61.46	2.00	0.72	63.97	2.00	0.68	66.09
Rrima-10 (2019)	22	4.00	1.54	61.46	4.00	1.44	63.97	4.00	1.36	66.09
Rrima-11 (2019)	23	3.00	1.16	61.46	3.00	1.08	63.97	3.00	1.02	66.09
Rrima-12 (2019)	24	46.00	17.73	61.46	46.00	16.57	63.97	46.00	15.60	66.09

Rrima-13(2019)	25	44.00	16.96	61.46	44.00	15.85	63.97	44.00	14.92	66.09
-----------------------	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Notas:

- En la tabla se puede identificar que para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno existen valores iniciales codificados por valores como < 2 y < 3 en diferentes años, por ende, en nuestra investigación no están siendo considerados.
- Entiéndanse como muestra inicial los valores obtenidos de los resultados de monitoreos participativos anuales de la calidad de aguas superficiales de la cuenca baja del río Rímac entre los años 2013 al 2019.
- En relación a la muestra tratada que se ubica en la tabla 7, hace referencia a los resultados obtenidos de la aplicación de la ecuación de James Watts que fue representada por la variable “Y”.

Tabla 8.

Estimaciones de muestra tratada para el parámetro de pH

Estaciones	N.º. Muestras	pH								
		5´			10´			15´		
		Muestra Inicial	Muestra Tratada (Y)	Eficiencia	Muestra Tratada (Y)	Eficiencia	Muestra Tratada (Y)	Eficiencia		
Rrima-9 (2013)	1	8.07	8.17	-1.26	8.27	-2.52	8.31	-2.95		
Rrima-10 (2013)	2	8.18	8.28	-1.26	8.39	-2.52	8.42	-2.95		
Rrima-11 (2013)	3	8.16	8.26	-1.26	8.37	-2.52	8.40	-2.95		

Rrima-12 (2013)	4	7.94	8.04	-1.26	8.14	-2.52	8.17	-2.95
Rrima-13 (2013)	5	7.72	7.82	-1.26	7.91	-2.52	7.95	2.95
Rrima-9 (2015)	6	8.10	8.20	-1.26	8.30	-2.52	8.34	-2.95
Rrima-10 (2015)	7	7.19	7.28	-1.26	7.37	-2.52	7.40	-2.95
Rrima-11 (2015)	8	7.72	7.82	-1.26	7.91	-2.52	7.95	-2.95
Rrima-12 (2015)	9	7.69	7.79	-1.26	7.88	-2.52	7.92	-2.95
Rrima-13 (2015)	10	6.72	6.80	-1.26	6.89	-2.52	6.92	-2.95
Rrima-9 (2017)	11	8.71	8.82	-1.26	8.93	-2.52	8.97	-2.95
Rrima-10 (2017)	12	8.60	8.71	-1.26	8.82	-2.52	8.85	-2.95
Rrima-11 (2017)	13	8.75	8.86	-1.26	8.97	-2.52	9.01	-2.95
Rrima-12 (2017)	14	8.40	8.51	-1.26	8.61	-2.52	8.65	-2.95
Rrima-13 (2017)	15	8.06	8.16	-1.26	8.26	-2.52	8.29	-2.95
Rrima-9 (2018)	16	7.78	7.87	-1.26	7.97	-2.52	8.01	-2.95
Rrima-10 (2018)	17	8.55	8.65	-1.26	8.76	-2.52	8.80	-2.95
Rrima-11 (2018)	18	8.26	8.36	-1.26	8.46	-2.52	8.50	-2.95
Rrima-12 (2018)	19	8.02	8.12	-1.26	8.22	-2.52	8.26	-2.95
Rrima-13 (2018)	20	7.99	8.09	-1.26	8.20	-2.52	8.23	-2.95
Rrima-9 (2019)	21	8.21	8.31	-1.26	8.42	-2.52	8.45	-2.95
Rrima-10 (2019)	22	9.06	9.17	-1.26	9.29	-2.52	9.33	-2.95
Rrima-11 (2019)	23	8.22	8.32	-1.26	8.43	-2.52	8.46	-2.95
Rrima-12 (2019)	24	7.93	8.03	-1.26	8.13	-2.52	8.16	-2.95
Rrima-13(2019)	25	7.67	7.77	-1.26	7.86	-2.52	7.90	-2.95

Nota: En esta tabla se tiene los valores de la muestra inicial obtenidas por los monitoreos participativos anuales que se dieron entre los años 2013 al 2019 de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), así como también los valores obtenidos por la fórmula de James Watts para detectar la

muestra tratada del parámetro de pH con la eficiencia obtenida de la investigación de Salguero (2017).

Como se puede evidenciar los valores de la muestra tratada son más altos que las muestras iniciales, esto se debe a la eficiencia obtenida en la evaluación que se realizó a la investigación de Salguero (2017), donde la suma de sus promedios de sus muestras iniciales eran menores al promedio de sus muestras tratadas, que siendo reemplazada por la ecuación de James Watts nos da como resultados eficiencias negativas. Cabe recalcar que tenemos la eficiencia en negativo, pero eso no será impedimento para analizar los resultados, ya que en este parámetro existe una variación de una escala que va desde 0 a 6 que corresponde a soluciones ácidas, 7 son valores neutros y de 8 a 14 son soluciones alcalinas y obteniendo el resultado negativo nuestras muestras van alcanzando un grado mayor de alcalinidad que es lo más recomendable para poblaciones como los ríos.

Tabla 9.

Estimaciones de muestra tratada para el parámetro de Conductividad Eléctrica

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA										
		5 min			10 min			15 min		
Estaciones	N.º Muestras	Muestra Inicial	Muestra Tratada (Y)	Eficiencia	Muestra Tratada (Y)	Eficiencia	Muestra Tratada (Y)	Eficiencia		
Rima-9 (2013)	1	515.30	533.85	-3.60	547.76	-6.30	544.41	-5.65		
Rima-10 (2013)	2	516.90	535.51	-3.60	549.46	-6.30	546.10	-5.65		
Rima-11 (2013)	3	528.50	547.53	-3.60	561.80	-6.30	558.36	-5.65		

Rrima-12 (2013)	4	608.80	630.72	-3.60	647.15	-6.30	643.20	-5.65
Rrima-13 (2013)	5	683.70	708.31	-3.60	726.77	-6.30	722.33	-5.65
Rrima-9 (2015)	6	482.40	499.77	-3.60	512.79	-6.30	509.66	-5.65
Rrima-10 (2015)	7	487.50	505.05	-3.60	518.21	-6.30	515.04	-5.65
Rrima-11 (2015)	8	487.80	505.36	-3.60	518.53	-6.30	515.36	-5.65
Rrima-12 (2015)	9	547.90	567.62	-3.60	582.42	-6.30	578.86	-5.65
Rrima-13 (2015)	10	574.10	594.77	-3.60	610.27	-6.30	606.54	-5.65
Rrima-9 (2017)	11	514.10	532.61	-3.60	546.49	-6.30	543.15	-5.65
Rrima-10 (2017)	12	521.30	540.07	-3.60	554.14	-6.30	550.75	-5.65
Rrima-11 (2017)	13	520.60	539.34	-3.60	553.40	-6.30	550.01	-5.65
Rrima-12 (2017)	14	658.90	682.62	-3.60	700.41	-6.30	696.13	-5.65
Rrima-13 (2017)	15	696.60	721.68	-3.60	740.49	-6.30	735.96	-5.65
Rrima-9 (2018)	16	512.90	531.36	-3.60	545.21	-6.30	541.88	-5.65
Rrima-10 (2018)	17	520.70	539.45	-3.60	553.50	-6.30	550.12	-5.65
Rrima-11 (2018)	18	518.20	536.86	-3.60	550.85	-6.30	547.48	-5.65
Rrima-12 (2018)	19	606.40	628.23	-3.60	644.60	-6.30	640.66	-5.65
Rrima-13 (2018)	20	635.70	658.59	-3.60	675.75	-6.30	671.62	-5.65
Rrima-9 (2019)	21	8.98	9.30	-3.60	9.55	-6.30	9.49	-5.65
Rrima-10 (2019)	22	504	522.14	-3.60	535.75	-6.30	532.48	-5.65
Rrima-11 (2019)	23	503	521.11	-3.60	534.69	-6.30	531.42	-5.65
Rrima-12 (2019)	24	725	751.10	-3.60	770.68	-6.30	765.96	-5.65
Rrima-13(2019)	2	752	779.07	-3.60	799.38	6.30	794.49	-5.65

Nota: En esta tabla se tiene los valores de la muestra inicial obtenidas por los monitoreos participativos que se dieron entre los años 2013 al 2019 de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), así como también los valores obtenidos por la fórmula de James Watts para detectar la muestra

tratada del parámetro de conductividad eléctrica con la eficiencia obtenida de la investigación de Salguero (2017).

3.2 Análisis del tratamiento de las aguas de mala calidad con la técnica de micro burbujas de aire aplicando su uso teórico en la cuenca baja del río Rímac

El análisis del tratamiento de aguas de mala calidad se basa en el promedio de las muestras inicial y de la estimación de las muestras tratadas, que se dio en las cinco estaciones obtenidas del monitoreo participativo anual que realizó la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en los años correspondientes del 2013 al 2019 y en los intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 minutos.

Para ello es necesario utilizar una herramienta estadística que nos permite analizar el nivel de significancia de las medias de las muestras iniciales y tratadas para poder plantear una hipótesis en la cual veremos si el tratamiento fue efectivo o no.

Evaluación de los parámetros químicos con la prueba de T-Student

El desarrollo de la prueba T-Student consiste en poder plantear la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, que en nuestro caso serán las siguientes para todos los parámetros.

- Hipótesis nula = H_0 = Post tratamiento nuestra variable X es menor a la variable Y
($X < Y$)

- Hipótesis alternativa = H_1 = Post tratamiento de nuestra variable X es mayor a la variable Y ($X > Y$)

En donde la variable “X” representa a la muestra inicial y la variable “Y” a la muestra tratada.

Para el parámetro biológico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se desarrolló la prueba de T- Student en Microsoft Excel, dando como resultado los valores de la Tabla 10 para determinar el grado de confianza del tratamiento de micro burbujas de aire.

Tabla 10.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para la variable de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Nota: En esta tabla se tienen los resultados que se obtuvieron en base a la prueba estadística T-

	5'		10'		15'	
	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>
Media	16.66	6.42	16.66	6.00	16.66	5.65
Varianza	390.02	57.93	390.02	50.63	390.02	44.85
Observaciones	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Coefficiente de correlación de Pearson	1.00		1.00		1.00	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	14.00		14.00		14.00	
Estadístico t	3.27		3.27		3.27	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	1.76		1.76		1.76	

Student para el parámetro de DBO, que nos permitirá saber si nuestra hipótesis será aceptada o rechazada. Así como también ver el grado de confiabilidad de nuestra prueba.

En efecto la muestra tratada tiene un valor más pequeño que el agua control para el parámetro de la DBO en los tiempos establecidos de 5, 10 y 15 minutos.

Obteniendo estos resultados se analizarán los valores del valor Crítico de T y el valor Estadístico T en el parámetro de la DBO.

En donde:

- Si el valor estadístico $T > \text{Valor crítico de T}$ = Se rechaza la hipótesis nula
- Si el valor estadístico $T < \text{Valor crítico de T}$ = Se acepta la hipótesis nula

Tabla 11.

Resultados de la prueba t para la variable de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

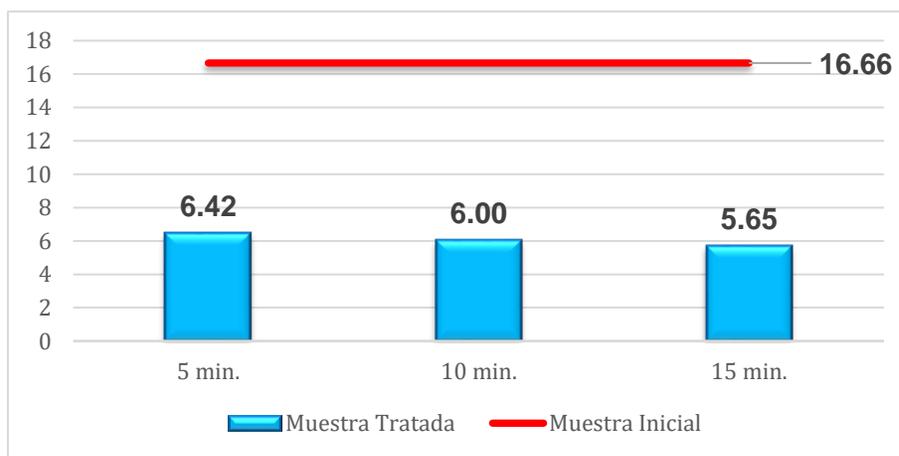
Valor estadístico T	3.27
Valor crítico de T	1.76
Resultado	$3.27 > 1.76$
Hipótesis nula	Post tratamiento nuestra variable X es menor a la variable $Y (X < Y)$
Hipótesis alternativa	Post tratamiento nuestra variable X es mayor a la variable $Y (X > Y)$
Conclusión	Se rechaza la hipótesis nula.

Nota: En la tabla se presentan los resultados del valor estadístico T y el valor crítico de T para realizar el análisis de aprobación o rechazo de la hipótesis nula del parámetro de DBO.

Con este análisis damos por concluido que existe una remoción de contaminantes en el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno (BDO) luego de haber aplicado el tratamiento de micro burbujas de aire de uso teórico en la cuenca baja del río Rímac, como se puede identificar en la Figura 2.

Esto se determina por el valor de $P (\leq T)$ de una cola en los tres tiempos, obteniendo como resultados valores menores al grado de confianza de 0.05α , aprobando que el tratamiento genera una remoción de DBO.

Figura 2. Comparación de la muestra inicial y muestra tratada para el parámetro DBO en los tres intervalos de tiempo (5, 10 y 15 minutos)



Nota: Comparación del promedio de las muestras iniciales y muestras tratadas en los intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 min para los datos estimados de la ANA (2013-2019) identificando que existió una gran remoción de contaminantes para el parámetro de la DBO en el tratamiento de micro burbujas de forma teórica.

Tabla 12.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para la variable de pH

	5'		10'		15'	
	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>
Media	8.07	8.17	8.07	8.27	8.07	8.31
Varianza	0.24	0.25	0.24	0.26	0.24	0.26
Observaciones	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Coefficiente de correlación de Pearson	1.00		1.00		1.00	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	24.00		24.00		24.00	
Estadístico t	-81.74		-81.74		-81.74	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	1.71		1.71		1.71	

Nota: En esta tabla se tienen los resultados que se obtuvieron en base a la prueba estadística T-Student para el parámetro de pH, que nos permitirá saber si nuestra hipótesis será aceptada o rechazada. Así como también ver el grado de confiabilidad de nuestra prueba.

Obteniendo estos resultados se analizarán los valores del valor Crítico de T y el valor Estadístico T en el parámetro de pH.

En donde:

- Si el valor estadístico $T > \text{Valor crítico de } T = \text{Se rechaza la hipótesis nula}$
- Si el valor estadístico $T < \text{Valor crítico de } T = \text{Se acepta la hipótesis nula}$

Tabla 13.

Resultados de la prueba t para la variable de pH

Valor estadístico T	-81.74
Valor crítico de T	1.71
Resultado	$-81.74 < 1.71$
Hipótesis nula	Post tratamiento nuestra variable X es menor a la variable Y ($X < Y$)
Hipótesis alternativa	Después del tratamiento nuestra variable X es mayor a la variable Y ($X > Y$)
Conclusión	Se acepta hipótesis nula.

Nota: En la tabla se presentan los resultados del valor estadístico T y el valor crítico de T para realizar el análisis de aprobación o rechazo de la hipótesis nula del parámetro pH.

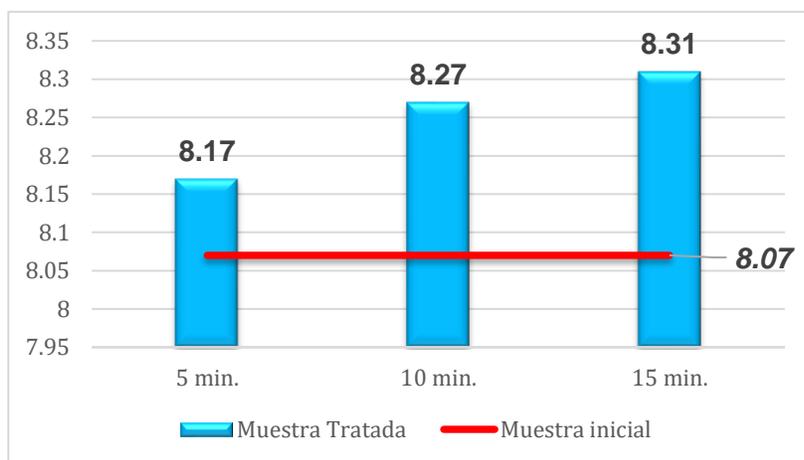
Con este análisis damos por concluido que el parámetro de pH da como resultado valores mayores a la comparación de las muestras iniciales después de haber aplicado el tratamiento de micro burbujas de aire de uso teórico en la cuenca baja del río Rímac (Figura 2), esto se debe a que este parámetro va en base a una escala de 0 a 14 donde de 0 a 6 son representados por sustancias ácidas, 7 es un valor neutro y de 8 a 14 son sustancias alcalinas.

En este caso se puede evidenciar que se aprueba la hipótesis nula que indica que la muestra inicial es mayor a la muestra tratada ($X < Y$). Sin embargo, no quiere decir que nuestro tratamiento

no es factible, por el contrario, al tener una escala nuestros valores se van acercando más a la alcalinidad, que es lo ideal para poblaciones como ríos, teniendo un grado de confianza de 0.05, aprobando nuestra hipótesis general de la investigación.

Figura 3.

Comparación de la muestra inicial y muestra tratada para el parámetro pH en los tres intervalos de tiempo (5, 10 y 15 minutos)



Nota: Comparación del promedio de las muestras iniciales y muestras tratadas en los intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 min para los datos estimados de la ANA (2013-2019) identificando que los valores van en crecimiento acercándose más a valores alcalinos que es lo ideal para una población como los ríos.

Tabla 14.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas para la variable de conductividad eléctrica

	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>	<i>Muestra Inicial</i>	<i>Muestra Tratada (Y)</i>
Media	545.25	564.88	545.25	579.60	545.25	576.06
Varianza	18959.05	20348.67	18959.05	21423.14	18959.05	21161.95
Observaciones	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Coefficiente de correlación de Pearson	1.00		1.00		1.00	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	24.00		24.00		24.00	
Estadístico t	-19.80		-19.80		-19.80	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	1.71		1.71		1.71	

Nota: En esta tabla se tienen los resultados que se obtuvieron en base a la prueba estadística T-Student para el parámetro de conductividad eléctrica, que nos permitirá saber si nuestra hipótesis será aceptada o rechazada. Así como también ver el grado de confiabilidad de nuestra prueba.

Obteniendo estos resultados se analizarán los valores del valor Crítico de T y el valor Estadístico T en el parámetro de conductividad eléctrica.

En donde:

- Si el valor estadístico $T > \text{Valor crítico de T}$ = Se rechaza la hipótesis nula
- Si el valor estadístico $T < \text{Valor crítico de T}$ = Se acepta la hipótesis nula

Tabla 15.

Resultados de la prueba t para la variable de conductividad eléctrica

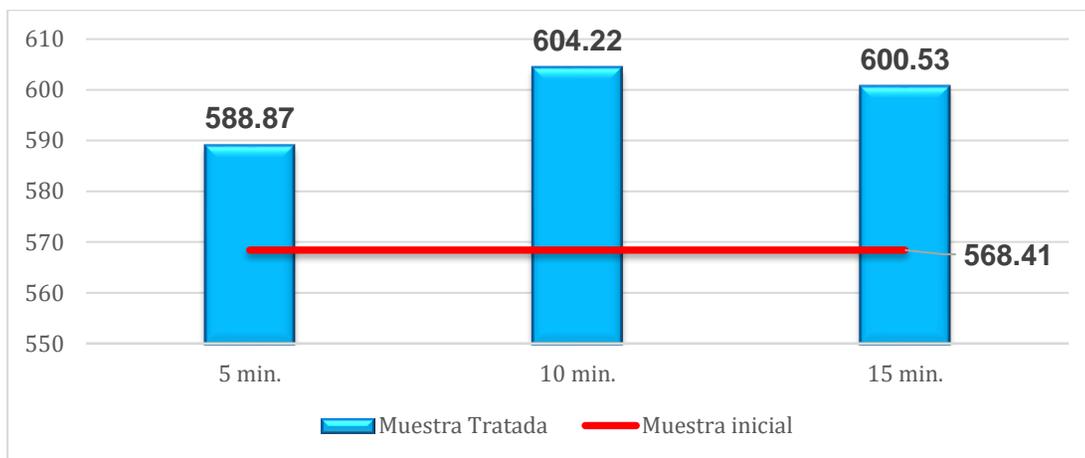
Valor estadístico T	-19.80
Valor crítico de T	1.71
Resultado	$-19.80 < 1.71$
Hipótesis nula	Post tratamiento nuestra variable X es menor a la variable Y ($X < Y$)
Hipótesis alternativa	Post tratamiento nuestra variable X es mayor a la variable Y ($X > Y$)
Conclusión	Se acepta la hipótesis nula.

Nota: En la tabla se presentan los resultados del valor estadístico T y el valor crítico de T para realizar el análisis de aprobación o rechazo de la hipótesis nula del parámetro conductividad eléctrica.

Con este análisis damos por concluido que no existe una remoción de contaminantes en el parámetro de la conductividad eléctrica luego de haber aplicado el tratamiento de micro burbujas de aire de uso teórico en la cuenca baja del río Rímac ya que, los valores presentados de la muestra tratada son mayores a la muestra inicial. Evidenciando que el tratamiento no es factible con respecto a este parámetro.

Figura 4.

Comparación de la muestra inicial y muestra tratada para el parámetro de conductividad eléctrica en los tres intervalos de tiempo (5, 10 y 15 minutos).



Nota: Comparación de las muestras control (Intervalo de tiempo de 5, 10 y 15 min) y agua tratada para los datos estimados para la entidad de la ANA, identificamos que a mayor tiempo de exposición el valor de parámetro de conductividad eléctrica va aumentando. Sin embargo, para el último tiempo

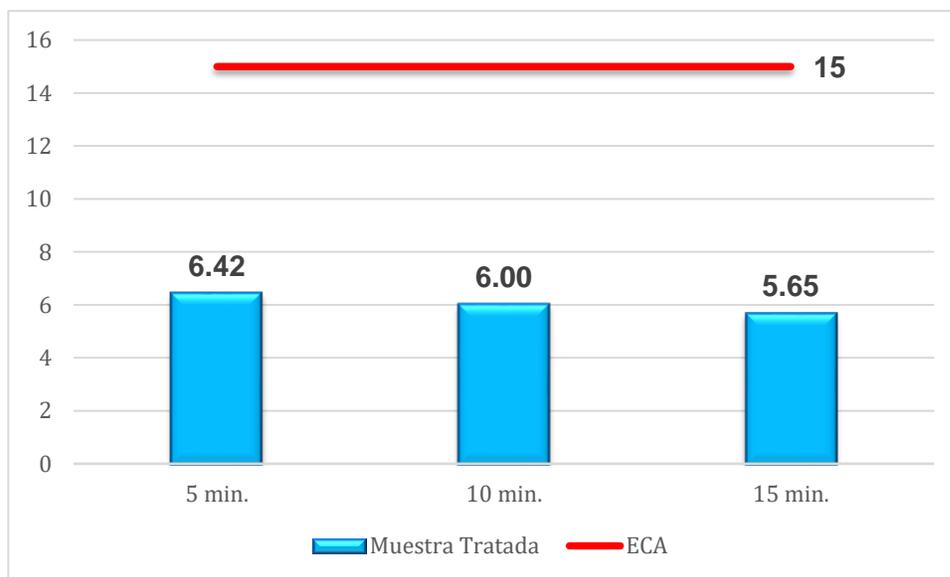
del tratamiento este disminuirá ya que hay menor agitación de las burbujas disminuyendo así la conductividad eléctrica.

3.3 Eficiencia en el tratamiento de aguas de mala calidad aplicando la técnica de micro burbujas de aire basado en uso teórico en la cuenca baja del río Rímac

La determinación de la eficiencia del tratamiento de micro burbujas de forma teórica se realizará mediante la comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas, Categoría 3- Riego de vegetales y bebida de animales y será representando según los siguientes gráficos.

Figura 5.

Comparación de las muestras tratadas con los Estándares de Calidad Ambiental para el parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).



Nota: En el siguiente gráfico se tiene la estimación de los promedios de las muestras tratadas del río Rímac con el tratamiento de micro burbujas de uso teórico en los intervalos de tiempo de 5, 10

y 15 minutos para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno que está siendo comparada con los Estándares de Calidad Ambiental en categoría 3.

En los gráficos anteriores se pudo verificar que la muestra inicial fue del valor de 16.66 mg/L para la DBO superando la cantidad mínima permitida en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), sin embargo, se puede evidenciar que al aplicar el tratamiento de micro burbujas de forma teórica se obtienen valores menores al ECA, como muestra la Figura 5.

Se puede concluir que a mayor exposición de tiempo del tratamiento de micro burbujas de forma teórica existirá mayor remoción del contaminante de la DBO.

Figura 6.

Comparación de las muestras tratadas con los Estándares de Calidad Ambiental para el parámetro de pH.



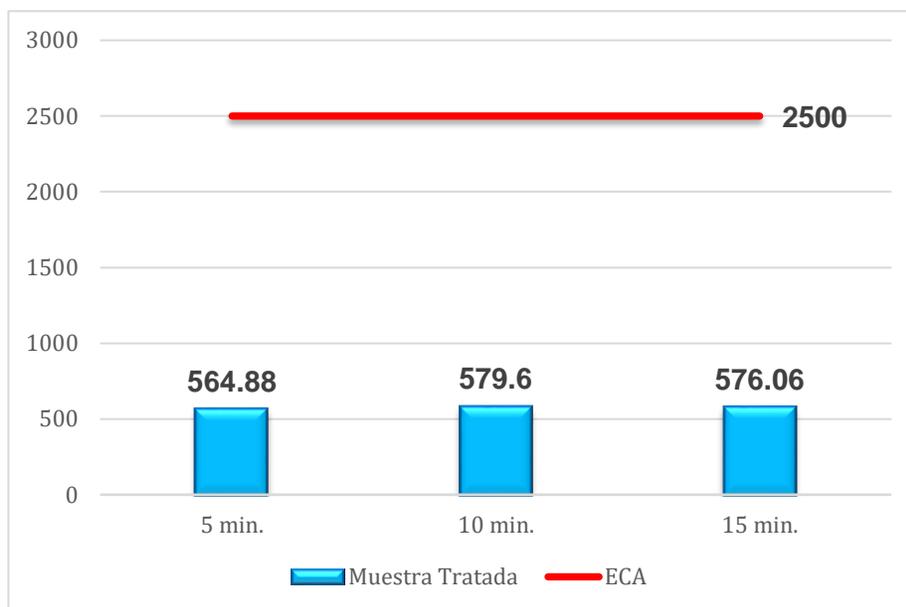
Nota: En el siguiente gráfico se tiene la estimación de los promedios de las muestras tratadas del río Rímac con el tratamiento de micro burbujas de forma teórica en los intervalos de tiempo de 5,

10 y 15 minutos para el parámetro de pH que está siendo comparada con los Estándares de Calidad Ambiental en categoría 3.

Se obtuvo como resultado de la muestra inicial de 8.07 pH manteniéndose en el rango cerca al valor neutro del nivel de alcalinidad de la muestra, este se mantiene dentro de los Estándares de Calidad Ambiental, pero con el tratamiento de micro burbujas aplicado de uso teórico nos da resultados más cercanos a la alcalinidad.

Figura 7.

Comparación de las muestras tratadas con los Estándares de Calidad Ambiental para el parámetro de conductividad eléctrica.



Nota: En el siguiente gráfico se tiene la estimación de los promedios de las muestras tratadas del río Rímac con el tratamiento de micro burbujas de forma teórica en los intervalos de tiempo de 5,

10 y 15 minutos para el parámetro de conductividad eléctrica que está siendo comparada con los Estándares de Calidad Ambiental en categoría 3.

Con respecto a la conductividad eléctrica los valores de la muestra tratada están por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental, para los tiempos determinados. Sin embargo, tenemos que tener en cuenta que a mayor tiempo los valores van en aumento y solo en el tiempo de 15 minutos disminuye, debido a que las partículas no tienen la misma agitación que al inicio disminuyendo su conductividad eléctrica.

Por otro lado, en comparación al valor de la muestra inicial de 545.25 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con los valores post el tratamiento se puede evidenciar que están en aumento, esto se puede dar por diferentes factores que pueden ser las interferencias al momento de realizar la evaluación de la conductividad eléctrica in situ. Sin embargo, el aumento no es tan considerable ya que sigue cumpliendo con los valores mínimos de este parámetro para los ECA

Después de hacer la evaluación de las eficiencias técnicas determinadas por el tratamiento de micro burbujas de aire y también la evaluación del tratamiento de aguas de mala calidad se pudo constatar que la eficiencia más óptima para el tratamiento de las muestras se dio en el intervalo de 15 minutos. Es por ello, que ahora se aplicará de forma individual a todas estaciones de monitoreo de las aguas superficiales de la cuenca baja del río Rímac.

Tabla 16.

Estimaciones de muestra tratada para el parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para el tiempo de 15 minutos.

Estaciones	Muestra inicial	Muestra tratada (Y)	Eficiencia
Rrima-10 (2013)	4.15	1.41	66.09
Rrima-11 (2013)	3.56	1.21	66.09
Rrima-12 (2013)	7.11	2.41	66.09
Rrima-13 (2013)	8.03	2.72	66.09
Rrima-12 (2015)	17.00	5.76	66.09
Rrima-13 (2015)	9.00	3.05	66.09
Rrima-12 (2017)	4.00	1.36	66.09
Rrima-13 (2017)	11.00	3.73	66.09
Rrima-12 (2018)	20.00	6.78	66.09
Rrima-13 (2018)	67.00	22.72	66.09
Rrima-9 (2019)	2.00	0.68	66.09
Rrima-10 (2019)	4.00	1.36	66.09
Rrima-11 (2019)	3.00	1.02	66.09
Rrima-12 (2019)	46.00	15.60	66.09
Rrima-13(2019)	44.00	14.92	66.09

Nota: En la siguiente tabla se pueden identificar los valores de la muestra inicial del monitoreo participativo de la ANA y las estimaciones de las muestras tratadas para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno con una eficiencia obtenida en los datos de Salguero (2017) de 66.09 % en un tiempo de 15 minutos.

Figura 8.

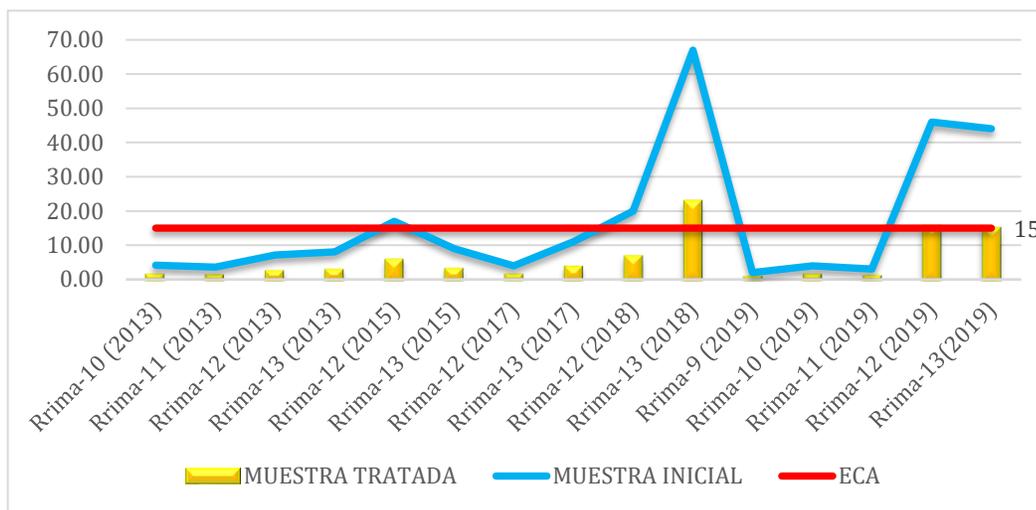
Comparación de las muestras iniciales y tratadas de las estaciones de monitoreo de la ANA en un tiempo de 15 minutos para el parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)



Nota: Como se puede evidenciar en la figura 7 se ve notablemente la disminución del contaminante de la BDO en las estaciones de monitoreo de las aguas superficiales de la cuenca baja del río Rímac, luego de haber realizado el tratamiento de micro burbujas de forma teórica.

Figura 9.

Comparación de los resultados de las muestras iniciales y tratadas con los Estándares de Calidad Ambiental para el parámetro de la DBO.



Nota: En la figura 7 tenemos una comparación de tres factores que nos ayudará a evidenciar la remoción de contaminantes de la DBO, esto se dará desde cómo se encontró la muestra inicial, cuál fue el resultado de la muestra tratada después de la aplicación teórica del tratamiento de micro burbujas y el valor máximo que debe tener este parámetro para que cumpla con la normativa de los Estándares de Calidad Ambiental.

Se puede identificar en comparación de la muestra inicial y tratada en cada estación de monitoreo existe una gran disminución de este parámetro que equivale a un 33.91 % de remoción del parámetro de la DBO.

Tabla 17.

Estimaciones de muestra tratada para el parámetro de pH para el tiempo de 15 minutos.

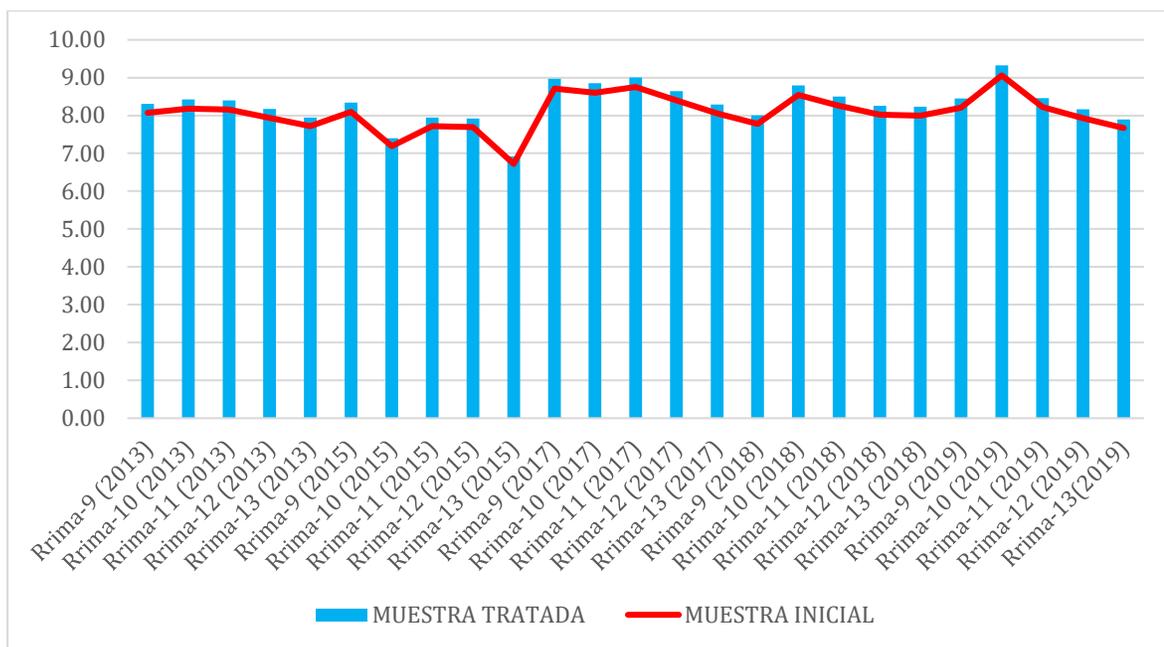
pH			
	Muestra	Muestra	Eficiencia
Estaciones	inicial	tratada (Y)	
Rrima-9 (2013)	8.07	8.31	-2.95
Rrima-10 (2013)	8.18	8.42	-2.95
Rrima-11 (2013)	8.16	8.40	-2.95
Rrima-12 (2013)	7.94	8.17	-2.95
Rrima-13 (2013)	7.72	7.95	-2.95
Rrima-9 (2015)	8.10	8.34	-2.95
Rrima-10 (2015)	7.19	7.40	-2.95
Rrima-11 (2015)	7.72	7.95	-2.95
Rrima-12 (2015)	7.69	7.92	-2.95
Rrima-13 (2015)	6.72	6.92	-2.95
Rrima-9 (2017)	8.71	8.97	-2.95
Rrima-10 (2017)	8.60	8.85	-2.95
Rrima-11 (2017)	8.75	9.01	-2.95
Rrima-12 (2017)	8.40	8.65	-2.95
Rrima-13 (2017)	8.06	8.29	-2.95

Rrima-9 (2018)	7.78	8.01	-2.95
Rrima-10 (2018)	8.55	8.80	-2.95
Rrima-11 (2018)	8.26	8.50	-2.95
Rrima-12 (2018)	8.02	8.26	-2.95
Rrima-13 (2018)	7.99	8.23	-2.95
Rrima-9 (2019)	8.21	8.45	-2.95
Rrima-10 (2019)	9.06	9.33	-2.95
Rrima-11 (2019)	8.22	8.46	-2.95
Rrima-12 (2019)	7.93	8.16	-2.95
Rrima-13 (2019)	7.67	7.90	-2.95

Nota: En la siguiente tabla se pueden identificar los valores de la muestra inicial del monitoreo participativo de la ANA y las estimaciones de las muestras tratadas del parámetro de pH la con una eficiencia obtenida en los datos de Salguero (2017) de -2.95 % en un tiempo de 15 minutos.

Figura 10.

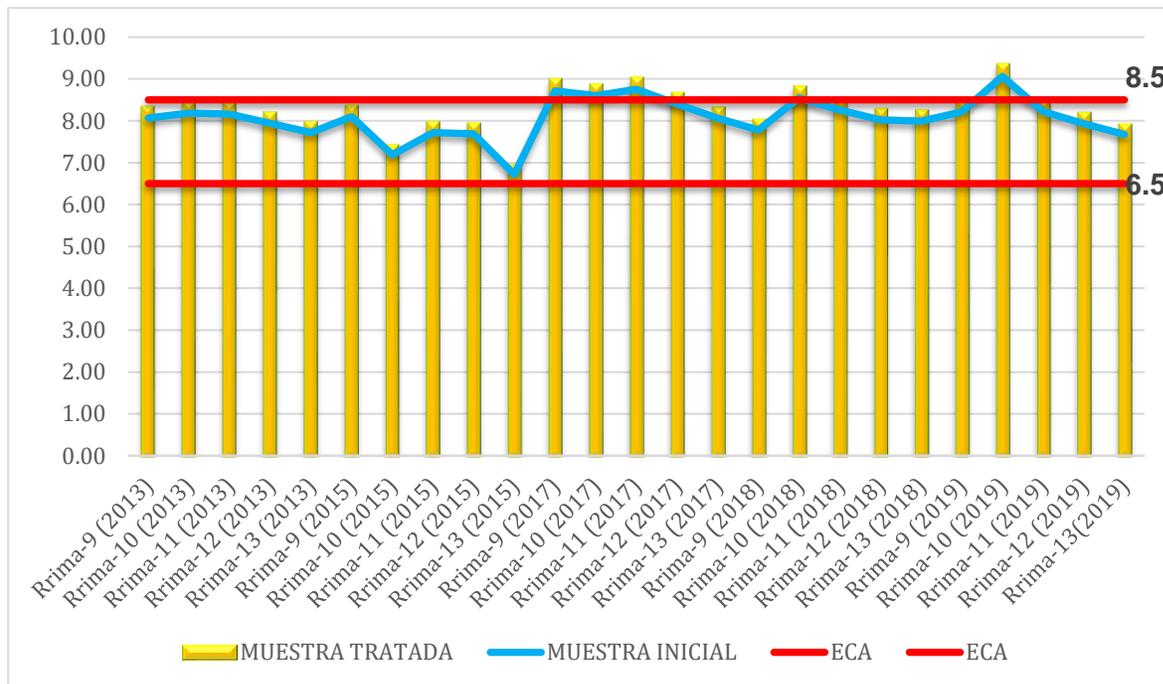
Comparación de las muestras iniciales y tratadas de las estaciones de monitoreo de la ANA en un tiempo de 15 minutos para el parámetro de pH



Nota: Como se puede evidenciar en la figura 10 se ve el aumento del parámetro de pH en las estaciones de monitoreo de las aguas superficiales de la cuenca baja del río Rímac luego de haber realizado el tratamiento de micro burbujas de forma teórica.

Figura 11.

Comparación de los resultados de las muestras iniciales y tratadas con los Estándares de Calidad Ambiental para el parámetro de pH.



Nota: En la figura 11 tenemos una comparación de tres factores que nos ayudará a evidenciar si la muestra es una solución ácida o alcalina, esto se dará desde cómo se encontró la muestra inicial, cuál fue el resultado de la muestra tratada después de la aplicación teórica del tratamiento de micro burbujas y que se encuentre en el rango de valores permitidos para este parámetro para que así cumpla con la normativa de los Estándares de Calidad Ambiental.

El comportamiento de las muestras tratadas luego de la aplicación del tratamiento de micro burbujas de forma teórica se da manera ascendente para el parámetro de pH alcanzando valores más alcalinos.

Se puede identificar que en comparación de la muestra inicial y tratada en cada estación de monitoreo existe un gran aumento de este parámetro que equivale a un 102.95% de incremento del parámetro de la pH, acercándolo a valores alcalinos.

Tabla 18.

Estimaciones de muestra tratada para el parámetro de Conductividad Eléctrica para el tiempo de 15 minutos.

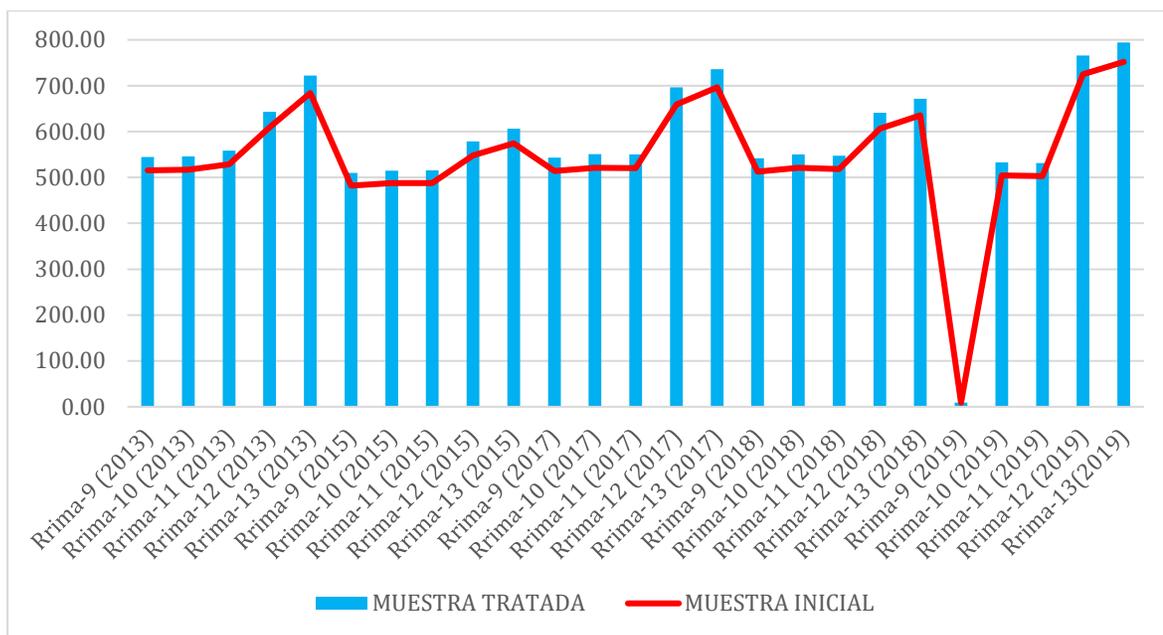
Conductividad Eléctrica				
ESTACIONES	Muestra inicial	Muestra tratada (Y)	ECA	Eficiencia
Rrima-9 (2013)	515.30	544.41	2500	-5.65
Rrima-10 (2013)	516.90	546.10	2500	-5.65
Rrima-11 (2013)	528.50	558.36	2500	-5.65
Rrima-12 (2013)	608.80	643.20	2500	-5.65
Rrima-13 (2013)	683.70	722.33	2500	-5.65
Rrima-9 (2015)	482.40	509.66	2500	-5.65
Rrima-10 (2015)	487.50	515.04	2500	-5.65
Rrima-11 (2015)	487.80	515.36	2500	-5.65
Rrima-12 (2015)	547.90	578.86	2500	-5.65
Rrima-13 (2015)	574.10	606.54	2500	-5.65
Rrima-9 (2017)	514.10	543.15	2500	-5.65

Rrima-10 (2017)	521.30	550.75	2500	-5.65
Rrima-11 (2017)	520.60	550.01	2500	-5.65
Rrima-12 (2017)	658.90	696.13	2500	-5.65
Rrima-13 (2017)	696.60	735.96	2500	-5.65
Rrima-9 (2018)	512.90	541.88	2500	-5.65
Rrima-10 (2018)	520.70	550.12	2500	-5.65
Rrima-11 (2018)	518.20	547.48	2500	-5.65
Rrima-12 (2018)	606.40	640.66	2500	-5.65
Rrima-13 (2018)	635.70	671.62	2500	-5.65
Rrima-9 (2019)	8.98	9.49	2500	-5.65
Rrima-10 (2019)	504.00	532.48	2500	-5.65
Rrima-11 (2019)	503.00	531.42	2500	-5.65
Rrima-12 (2019)	725.00	765.96	2500	-5.65
Rrima-13(2019)	752.00	794.49	2500	-5.65

Nota: En la siguiente tabla se pueden identificar los valores de la muestra inicial del monitoreo participativo de la ANA y las estimaciones de las muestras tratadas del parámetro de la conductividad eléctrica con una eficiencia obtenida en los datos de Salguero (2017) de -5.65% en un tiempo de 15 minutos.

Figura 12.

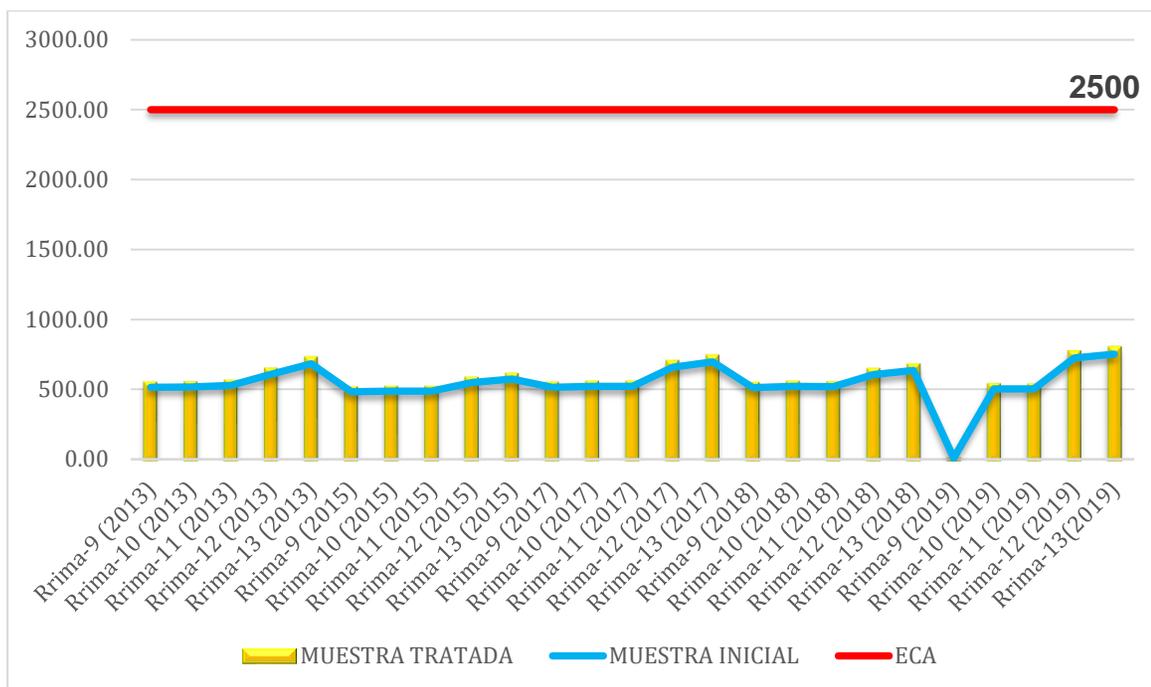
Comparación de las muestras iniciales y tratadas de las estaciones de monitoreo de la ANA en un tiempo de 15 minutos para el parámetro de conductividad eléctrica



Nota: Como se puede evidenciar en la figura 11 se ve el aumento del parámetro de la conductividad eléctrica en las estaciones de monitoreo de las aguas superficiales de la cuenca baja del río Rímac luego de haber realizado el tratamiento de micro burbujas de forma teórica.

Figura 13.

Comparación de los resultados de las muestras iniciales y tratadas con los Estándares de Calidad Ambiental para el parámetro de la conductividad eléctrica.



Nota: En la figura 13 tenemos una comparación de tres factores (muestra inicial, tratada y los Estándares de Calidad Ambiental) que nos ayudará a evidenciar si la muestra está dentro de los valores permitidos que nos pide la normativa.

Se puede identificar en comparación de la muestra inicial y tratada en cada estación de monitoreo existe un gran aumento de este parámetro que equivale a un 105.65 % de incremento para la variable de conductividad eléctrica, esto se debe a que en la toma de muestras pueden existir interferencias que llegue alterar el valor, provocando que estos sean más altos.

En base a estos resultados realizaremos la prueba estadística que nos indicará si existe un grado de significancia en el promedio de las medias de los la muestra inicial y tratada.

Tabla 19.

Prueba t para medias de dos muestras para los parámetros de DBO, pH y conductividad eléctrica

	DBO		pH		Conductividad eléctrica	
	MUESTRA INICIAL	MUESTRA TRATADA	MUESTRA INICIAL	MUESTRA TRATADA	MUESTRA INICIAL	MUESTRA TRATADA
Media	16.66	5.65	8.07	8.31	545.25	576.06
Varianza	390.02	44.85	0.24	0.26	18959.05	21161.82
Observaciones	15.00	15.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Coefficiente de correlación de Pearson	1.00		1.00		1.00	
Diferencia hipotética de las medias	0.00		0.00		0.00	
Grados de libertad	14.00		24.00		24.00	
Estadístico t	3.27		-81.74		-19.80	
P(T<=t) una cola	0.00		0.00		0.00	
Valor crítico de t (una cola)	1.76		1.71		1.71	

Tabla 20.

Resultados de la prueba t para las variables de la DBO, pH y conductividad eléctrica

	DBO	PH	Conductividad Eléctrica
Valor estadístico T	3.27	-81.74	-19.80
Valor crítico de T	1.76	1.71	1.71
Resultado	$3.27 > 1.76$	$-81.74 < 1.76$	$-19.80 < 1.71$
Hipótesis nula	Post tratamiento nuestra variable X es menor a la variable Y ($X < Y$)		
Hipótesis alternativa	Post tratamiento nuestra variable X es mayor a la variable Y ($X > Y$)		
Conclusión	Se rechaza la hipótesis nula	Se acepta la hipótesis nula	Se acepta la hipótesis nula

Nota: Se obtienen los resultados de la prueba T-Student en la cual solo en el valor de la DBO se acepta la hipótesis alterna indicando que la muestra inicial es menor a los valores de la muestra tratada. En el caso de pH y conductividad eléctrica es lo contrario ya que sus valores aumentan.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Con respecto a los casos continuos por contaminación en las aguas del río Rímac que se originan desde la cuenca alta hacia el mar, estos arrastran concentraciones elevadas en los parámetros físicos y químicos por causa de los relaves mineros metalúrgicos que se van acumulando en conjunto con las descargas de aguas residuales industriales no tratadas y la descarga de aguas de desagües en la cuenca baja, esto genera alertas importantes que permite a la ciencia investigar que tratamientos son eficientes que ayuden a disminuir esta carga de contaminantes antes de llegar a desembocar con el mar ya que son dañinos para la salud y el medio ambiente.

Tal como indica Hernández (2019) en su trabajo de investigación donde señala que el tratamiento de las micro burbujas no sería suficiente sino que necesita complementarse con el de la aplicación de microorganismos inoculados para que haya una mayor efectividad al momento de la remoción de contaminantes, así logró un 75 % en reducción en los parámetros físicos y químicos tales como la demanda química biológica, nitritos, nitratos, sólidos sedimentables, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad y potencial de hidrógeno, al igual que para Domínguez y León (2019), que utilizaron una segunda técnica que es la de flotación por aire disuelto para que se generarán burbujas más finas para que los aceites y grasas se coloquen en la parte superior y así se pueda obtener una remoción de un 80 %, en la contraparte está Calderón y Meza (2021), que utilizan una sola técnica de las micro burbujas debido a que logran un 50 % de remoción de la carga orgánica para las aguas que contienen el antibiótico

Nitazoxanida para no dañar las aguas que son vertidas al alcantarillado. Por lo tanto, se puede observar que para los dos primeros trabajos de investigación hay una mayor cantidad de remoción del 75 % y 80 % respectivamente mientras que para el tercer trabajo solo se evidencia una menor cantidad del 50 %, por lo que se recomienda agregar una técnica más a la de las micro burbujas para obtener una mayor disminución de polución.

Para los autores nacionales y locales se observó que solo aplican la técnica de las micro burbujas para parámetros físicos, químicos y biológicos, tal como lo demuestran los siguientes autores, el primero que fue Abate (2018) que con esta técnica lo aplicó en las aguas de mar para reducir el parámetro biológico que son los coliformes fecales, removiendo un total del 93.7 % de promedio, esto se debe a que al ser microorganismos y crecer exponencialmente al aplicarse el tratamiento hace que de la misma forma disminuyan, mientras que para el segundo autor Macassi (2017), su producto fue de agua residual doméstica dónde utilizó el parámetro de la demanda química de oxígeno señalando que durante un tiempo de 10 horas se obtiene una mejor remoción del 79.92 % y esto se debe a que mientras más horas en el tratamiento hay una mayor disminución de contaminantes como se puede observar para el último autor que fue Vicente (2017), que solo utilizó un tiempo de 15 minutos y así solo pudo remover 1.29 mg/L y 0.26 mg/L de plomo y zinc respectivamente en una muestra de agua de efluente minero que tendría en ella aguas de proceso minero metalúrgicas y consigo metales pesados como estos dos; por ellos se recomendaría al analizar estos tres trabajos de investigación que mientras haya un mayor tiempo en el tratamiento de las micro burbujas hay una mayor cantidad de contaminantes removidos, esto se debe a que las burbujas al ser de carga negativa y estar en un estado coloidal, al juntarse con los contaminantes

hace que haya una explosión y se generen radicales libres por lo que hace que disminuyan estos contaminantes.

La autoridad nacional del agua (ANA) realiza monitoreos participativos anuales en 25 estaciones de la cuenca alta, media y baja del río Rímac para saber los resultados que presenta el nivel de contaminantes que tiene el cuerpo receptor por ello la autora Salguero (2017) toma muestras pero en el río Chillón ya que presentan las mismas características climatológicas, geomorfológicas y topográficas para poder aplicar la técnica de las micro burbujas obteniendo en 15 minutos una eficiencia del 66.09 % en la demanda bioquímica de oxígeno por lo que el autor Menéndez (2017) en la contraparte con su trabajo de investigación muestra una mejor eficiencia del 78.75 % debido a que sus efluentes son aguas residuales hospitalarias antes de ser vertidas al cuerpo hídrico y de mezclarse con más contaminantes.

4.2. Limitaciones

En las limitaciones que se presentaron en el trabajo de investigación es el de elaborar un generador de micro burbujas para la ejecución del tratamiento y poder corroborarlo con una mayor eficiencia debido a los costos y el presupuesto que se deberían de requerir, por ello es de uso teórico.

Otra de ellas fue que los estudios experimentales sobre el tratamiento de las micro burbujas no fueron suficientes para poder aplicarse con la misma precisión en los resultados con los mismos parámetros y ver la comparativa inicial y final, y aplicar los datos estadísticos, sin embargo, los que se encontraron fueron seleccionados por su relevancia en la aplicación de la técnica y a su similitud de sus parámetros.

4.3. Implicancias

Gracias a la accesibilidad del repositorio web de la autoridad nacional del agua donde se pudo encontrar la información anual de los resultados de los monitoreos participativos ambientales para poder aplicar la técnica en las estaciones de Rrima-9, Rrima-10, Rrima-11, Rrima-12 y Rrima-13 que pertenecen a la cuenca baja del río Rímac durante los años del 2013 al 2019 y a los datos proporcionados por Salguero (2017) para poder aplicarlos y obtener valores referenciales en el caso de uso teórico del tratamiento de las micro burbujas.

4.4. Conclusiones

Esta investigación logró determinar la eficiencia óptima en el tratamiento de aguas de mala calidad aplicando la técnica de micro burbujas de aire para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica, basado en uso teórico en la cuenca baja del río Rímac, que utilizó como fuente los datos de las muestras iniciales de las cinco estaciones obtenidas en el monitoreo participativo que realizó la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en los años seleccionados del 2013 al 2019, en las últimas cinco estaciones denominadas Rrima-9, Rrima-10, Rrima-11, Rrima-12 y Rrima-13 de la cuenca baja y la eficiencia de Salguero como se muestra en la tabla N° 7, en los tiempos establecidos de 5, 10 y 15 minutos, se concluye que para el parámetro evaluado como la demanda biológica química los resultados obtenidos en las tabla N° 8, muestra que hay una disminución en cada intervalo de tiempo, donde se puede interpretar que a mayor cantidad de tiempo estos contaminantes irán disminuyendo su carga para beneficio de las aguas de la cuenca baja del río Rímac, ya que su muestra inicial es de 6.42 mg/L y la final de 5.65 mg/L, al igual que se puede observar en la tabla N° 9 para el potencial de hidrógeno el resultado inicial

es de 8.07 mg/L y ya con el tratamiento es de 8.30 mg/L se encuentran dentro de los rangos de ser un pH neutro a alcalino, lo cual muestra la eficiencia del tratamiento, al no ser aguas ácidas ya que serían perjudiciales para la salud y para el ecosistema acuático y finalmente para el parámetro de la conductividad eléctrica que no hay eficiencia como se observa en la tabla N° 9 ya que la muestra inicial es de 568.41 mg/L y la final en 15 minutos es de 600.53 mg/L, por lo que el tratamiento no es recomendable para este parámetro.

Se determinó que para evaluar la eficiencia de la técnica de micro burbujas de aire para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno, pH y conductividad eléctrica provenientes de las aguas de mala calidad del río Rímac, se logró obtener los resultados de las estimaciones de las aguas tratadas, comprobándose en las tablas N° 10, 12 y 14, la técnica del tratamiento que muestra las siguientes eficiencias respectivamente para la demanda biológica de oxígeno de un 66.09 %, el potencial de hidrógeno un 2.90 % y la conductividad eléctrica un 5.65 %, en base a estos resultados que son respaldados con la herramienta estadística denominada T-Student con la finalidad de evitar problemas de interpretación con nuestra evaluación de hipótesis planteada al principio para su veracidad del tratamiento que se analizó en las tablas N° 11,13 y 15..

Se concluye que para la técnica de micro burbujas de aire para el tratamiento de las aguas de mala calidad si sería eficiente la aplicación como uso teórico en la cuenca baja del río Rímac, ya que al realizar la comparativa con los valores establecidos por los estándares de calidad ambiental, aplicándose a los resultados de los promedios de las muestras tratadas de los tres parámetros elegidos en esta investigación se obtiene que para la demanda bioquímica de oxígeno se removió en un 33.91 % como se muestra en la figura N° 2, el potencial de hidrógeno como se

muestra en la figura N° 3 se llegó a remover 102.95 % y en la conductividad eléctrica como se observa en la figura N° 4 un 105.65 % ; cumpliendo la normativa.

Para finalizar se concluye que el tratamiento de las micro burbujas muestra una eficiencia para los parámetros físicos, químicos y biológicos, pero que para los parámetros de campo no es recomendable usar esta técnica debido a las condiciones de tiempo u otros factores que se presenten en el muestreo ya que al ser parámetros medidos IN SITU y ser analizados con un tratamiento después de ser tomada la muestra, hace que haya interferentes como el CO₂, la temperatura y otros medios causando la alteración de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Abate, B. (2016). *Reducción de coliformes fecales del agua de mar mediante micronanoburbujas de ozono y aire de la playa Los Pavos, Barranco*. (Tesis de Titulación), Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Autoridad Nacional del Agua. (1 de enero de 1970) *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del río Rímac*.

http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0_2.pdf

ANA. (2018). Informe Técnico de resultados del monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac-2017.

ANA. (2019). *Monitoreo de calidad del agua del río Rímac para su protección*. [En línea] Recuperado el 26 de octubre del 2019.

ANA (2020). Estado situacional de los recursos hídricos en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín- 2017/2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4742>

Ancieta, C. (2012). *Efecto de los Efluentes Domésticos en la Bahía del Callao*. (Tesis de Titulación) Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.

Arumugam, P. (2015). *Understanting the Fundamental Mechanisms of a Dynamic Micro-bubble Generator for Water Processing and Cleaning Applications*. (Grado de Magister), Universidad de Ingeniería de Toronto, Canadá.

Bailey, A. (1961). *Aceites y grasas industriales*. Barcelona, España, Editorial Reverté, S.A. [Versión electrónica] Recuperado el 29 de octubre del 2019.

Beltran, C., & Jacinto, N. (2012). *Aplicación de microburbujas en la flotación de lodos de tratamiento de aguas acidas de mina parte i: neutralización y flotación.*

Calderón, R. & Meza, M. (2021). *Diseño de una propuesta para la optimización de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria farmacéutica.* (Tesis de Titulación), Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Cantera, J., Carbajal, Y., & Castro, L. (2009). *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos.* Cali, Colombia, Editorial Universidad del Valle. [Versión electrónica] Recuperado el 29 de octubre del 2019.

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias 7 de junio del 2017. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Dominguez, J. & León, C. (2019). *Elaboración de un modelo físico a escala de laboratorio y su guía metodológica para el ensayo de separación de grasas y aceites, de la materia de Hidrosanitaria de la Universidad del Azuay.* (Tesis de Titulación), Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.

Hernandez, C. (2019). *Efectos de Micro y Nano Burbujas en Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas: El caso de Pasca, Cundinamarca.* (Grado de Magister) Universidad de Cundinamarca, Bogotá, Colombia.

Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación.* McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. (p. 185).

<https://drive.google.com/file/d/0B7fKI4RAT39QeHNzTGh0N19SME0/view?resourcekey=0-Tg3V3qROROH0Aw4maw5dDQ>

Lapeña, M. (1989). *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales*. Marcombo Barcelona, España, Editorial Marcombo S.A. [Versión electrónica] Recuperado el 17 de octubre del 2019.

Leyva, M. (2017). *Reducción del DQO y SST de los efluentes residuales de una industria azucarera en Paramonga, mediante el uso de micro -nanoburbujas de aire, Lima 2017* (Tesis de Titulación), UCV, Lima, Perú.

Macassi, G. (2017). *Comportamiento del sistema de nanoburbujeo en el tratamiento para reducir los niveles de contaminación de aguas residuales domésticas de la provincia de Concepción*. (Tesis de Titulación) Universidad Nacional del centro del Perú, Huancayo, Perú.

Menendez, D. (2017). *Eficiencia de las micro-nano burbujas de ozono-aire para mejorar la calidad de las aguas residuales hospitalarias, Lima 2017* (Tesis de Titulación), UCV, Lima, Perú.

Ministerio de Energía y Minas (n.d) Protocolo de Monitoreo de Calidad de agua (p. 7).
<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/GUIA%20HIDROCARBUROS%20II.pdf>

Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* Madrid, España, Editorial Recuperado el 20 de octubre del 2019.

MINAM. (2014). *MINAM invoca aprender a prevenir los efectos de mercurio*. [Declaración de posicionamiento].

Observatorio del Agua Chillón, Rímac, Lurín (2019). Diagnóstico inicial para el plan de Gestión de Recursos Hídricos de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3901>

Oré, A. C. (14 de enero del 2019). Río Rímac: Símbolo de la ciudad capital. El comercio Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013). *Afrontar la escasez de agua - Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*.

Sanchez, E. (2017.). *Producción masiva de microburbujas monodispersas para aplicaciones reales evitando la microfluídica* (Grado de Magister), Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Sánchez, H.; Reyes, C.; Mejía, K. (2018). *Manual de términos de investigación científica, tecnológica y humanística*. Editorial universidad Ricardo Palma (p. 53.) <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>

Sedapal. (2014). *Sedapal invoca no contaminar el río Rímac principal fuente de agua para Lima y Callao*. [Declaración de posicionamiento].

Salguero, J. (2017). *Reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las muestras de agua de la cuenca baja del Río Chillón mediante micronanoburbujas de Aire y Ozono en el distrito de Ventanilla-Callao 2017* (Tesis de Titulación), UCV, Lima, Perú.

UNESCO. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos* París, Francia, Editorial Recuperado el 20 de octubre del 2019.

Vicente, C. (2017). *Remoción de plomo y zinc de los efluentes mineros provenientes de la Unidad Mallay aplicando micro-nanoburbujas de aire, 2017* (Tesis de Titulación), UCV, Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo N° 1. Ubicación de las cinco estaciones de monitoreo participativo de la cuenca baja del río Rímac.

Figura 14. Estaciones de monitoreo de la cuenca baja del río Rímac



Anexo N° 2 Matriz Operacional de la Variable Independiente

Tabla 21. *Matriz Operacional de la Variable Independiente*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Independiente Uso de Micro burbujas de aire para mejorar la calidad de agua.	La eficiencia de las micro burbujas de aire está relacionada con sus características físicas (Arumugam, 2015).	El tratamiento de micro burbujas de aire se utiliza para reducir los contaminantes tóxicos de las aguas ingresando a una alta presión, que debido a su naturaleza le permite durar más tiempo en el agua, permitiendo adherirse a las toxinas y sacarlas del cuerpo de agua, que serán medidas por sus características físicas.	Condiciones de las características físicas de las micro burbujas de aire.	Tiempo del tratamiento Diámetro de las micro burbujas	Mín. mm

Anexo N° 3. Matriz Operacional de la Variable Dependiente

Tabla 22. *Matriz Operacional de la Variable Dependiente*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Escala de Medición
Dependiente Concentración de parámetros físicos (conductividad eléctrica y pH) y químico (DBO) de las muestras de agua de la cuenca baja del Río Rímac.	La reducción de la concentración de los parámetros físicos y químicos se realiza mediante la generación de micro burbujas de aire en muestras de agua del río Rímac.	Atributos que tiene el agua del río Rímac que son medidos a través de sus características físicas y químico.	Físico	pH	Unidad de pH	De intervalo
			Químico	DBO	Conductividad eléctrica μS/cm	De razón mg/L