

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL CENTRO DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN QUÍMICA

Tema: Análisis del proceso de remoción de sulfuro por distintos métodos en aguas residuales de la planta de tratamiento Mollepamba de la EP-EMAPA-A

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en
Química mención Química Física
Modalidad de titulación Proyecto de desarrollo

Autor: Ingeniera, Paola Cristina Pérez Fernández.

Director: Ingeniero, Edison Patricio Jordán Hidalgo, Mg.

Ambato- Ecuador

Año 2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

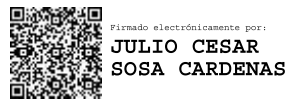
A la Unidad de Titulación/Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg. e integrado por los señores: Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa, MSc. & el Ing. Julio César Sosa Cárdenas, MSc., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Análisis del proceso de remoción de sulfuro por distintos métodos en aguas residuales de la planta de tratamiento Mollepamba de la EP-EMAPA-A”, elaborado y presentado por la Ing. Paola Cristina Pérez Fernández, para optar por el Grado Académico de Magister en Química mención Química Física; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa



Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa, MSc.
Miembro del Tribunal de Defensa



Ing. Julio César Sosa Cárdenas, MSc.
Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: Análisis del proceso de remoción de sulfuro por distintos métodos en aguas residuales de la planta de tratamiento Mollepamba de la EP-EMAPA-A, le corresponde exclusivamente a la Ingeniera Paola Cristina Pérez Fernández, Autora bajo la Dirección del Ingeniero Edison Patricio Jordán Hidalgo, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Firmado electrónicamente por:
**PAOLA CRISTINA
PEREZ FERNANDEZ**

Ingeniera Paola Cristina Pérez Fernández.

AUTORA



Firmado electrónicamente por:
**EDISSON
PATRICIO JORDAN
HIDALGO**

Ingeniero Edison Patricio Jordán Hidalgo, Mg.

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.



Firmado electrónicamente por:
**PAOLA CRISTINA
PEREZ FERNANDEZ**

Ingeniera Paola Cristina Pérez Fernández

C.C. 1804298956

ÍNDICE GENERAL

Contenido

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
AGRADECIMIENTO	xiii
DEDICATORIA.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xv
SUMMARY	xvi
CAPÍTULO 1	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II.....	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	4
2.1. Antecedentes del recurso hídrico	4
2.1.1. Contaminación del recurso hídrico.....	5
2.1.2. Actividades contaminantes.....	6
2.2. Aguas residuales	7

2.2.1.	Características del agua residual	7
2.2.2.	Parámetros de calidad de las aguas residuales	8
2.2.3.	Principales contaminantes del agua.....	10
2.2.4.	Efectos de la contaminación por las aguas residuales	14
2.3.	Unidades de trabajo EP-EMAPA-A	15
2.3.1.	Plantas de Tratamiento	16
2.4.	Tratamientos de aguas residuales.....	32
2.4.1.	Tratamientos para la remoción de sulfuros en aguas residuales	33
CAPÍTULO III		37
MARCO METODOLÓGICO		37
3.1.	Ubicación	37
3.2.	Equipos y materiales	39
3.2.1.	Materiales	39
3.2.2.	Equipos.....	39
3.2.3.	Reactivos.....	40
3.3.	Tipo de investigación.....	41
3.4.	Población	41
3.5.	Recolección de información	41
3.5.1.	Muestreo	41
3.5.2.	Análisis fisicoquímicos antes del tratamiento	42
3.5.3.	Tratamientos aplicados para la determinación de sulfuros	43
3.6.	Procesamiento y análisis estadístico	46
3.7.	Variables respuestas o resultados alcanzados	48
CAPÍTULO IV		50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		50
4.1.	Resultados y discusión.....	50
4.1.1.	Aeración	55

4.1.2.	Oxidación química	61
4.1.3.	Coagulante.....	72
CAPÍTULO V		85
5.1.	Conclusiones	85
5.2.	Recomendaciones	86
5.3.	Bibliografía	87
5.4.	Anexos	95
5.4.1.	Cálculos adicionales.....	95
5.4.2.	Bomba de agua empleada para la simulación	100
5.4.3.	Prueba de jarras para identificar la dosis adecuada del químico	100
5.4.4.	Documentos de respaldo de los materiales y análisis realizados	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Límites para descarga al Alcantarillado	8
Tabla 2. Límites para descarga a cuerpos de agua dulce.....	9
Tabla 3. Parámetros de control aplicados en la PTAR Shuyurco durante los años 2018, 2019 y 2020	17
Tabla 4. Parámetros de control aplicados en la PTAR Techo Propio 1 durante los años 2018, 2019 y 2020	18
Tabla 5. Parámetros de control aplicados en la PTAR Techo Propio 2 durante los años 2018, 2019 y 2020	18
Tabla 6. Parámetros de control aplicados en la PTAR Techo Propio 3 durante los años 2018, 2019 y 2020	19
Tabla 7. Parámetros de control aplicados en la PTAR Tiugua Bajo durante los años 2018, 2019 y 2020	20
Tabla 8. Parámetros de control aplicados en la PTAR Tiugua El Parque durante los años 2018, 2019 y 2020	21
Tabla 9. Parámetros de control aplicados en la PTAR Picaihua durante los años 2018, 2019 y 2020	22
Tabla 10. Parámetros de control aplicados en la PTAR Mollepamba durante los años 2018, 2019 y 2020	23
Tabla 11. Parámetros de control aplicados en la PTAR Cunchibamba durante los años 2018, 2019 y 2020	24
Tabla 12. Parámetros de control aplicados en la PTAR Puerto Arturo durante los años 2018, 2019 y 2020	25
Tabla 13. Parámetros de control aplicados en la PTAR Zona Norte durante los años 2018, 2019 y 2020	26
Tabla 14. Parámetros de control aplicados en la PTAR Indoamerica durante los años 2018, 2019 y 2020	27
Tabla 15. Parámetros de control aplicados en la PTAR Peral durante los años 2018, 2019 y 2020	28
Tabla 16. Parámetros de control aplicados en la PTAR Pilahuin durante los años 2018, 2019 y 2020	29
Tabla 17. Parámetros de control aplicados en la PTAR Carmelitas durante los años 2018, 2019 y 2020	30

Tabla 18. Parámetros de control aplicados en la PTAR Pucara Grande durante los años 2018, 2019 y 2020	31
Tabla 19. Parámetros de control aplicados en la PTAR Calguasig durante los años 2018, 2019 y 2020	32
Tabla 20. Parámetros aplicados en las muestras de agua residual de la PTAR Mollepamba.....	43
Tabla 21. Datos de caracterización del agua residual a la salida de la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A según los parámetros físicoquímicos descritos en el TULSMA Libro VI. Anexo I. Tabla 9.....	51
Tabla 22. Registro de resultados del estado inicial del agua residual de la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A en distintos puntos	54
Tabla 23. Promedio de los resultados de los tratamientos considerando el tiempo de bombeo de aire para la remoción de sulfuros por semana.....	57
Tabla 24. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento de bombeo de aire por cada semana.....	60
Tabla 25. Promedio de los resultados de los tratamientos variando la concentración del oxidante y la velocidad de mezclado de la prueba de jarras por semanas.....	65
Tabla 26. Análisis de varianza respecto a la concentración y velocidad de mezclado para el tratamiento de oxidación.....	67
Tabla 27. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el oxidante a 100 rpm de velocidad por cada semana	69
Tabla 28. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el oxidante a 200 rpm de velocidad por cada semana	70
Tabla 29. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el oxidante a 300 rpm de velocidad por cada semana	71
Tabla 30. Promedio de los resultados de los tratamientos variando la concentración del coagulante y la velocidad de mezclado de la prueba de jarras por semanas	75
Tabla 31. Análisis de varianza respecto a la concentración y velocidad de mezclado para el tratamiento de coagulación.....	78
Tabla 32. Prueba Tukey aplicada a los tratamiento del proceso de coagulación	79
Tabla 33. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el coagulante a 100 rpm de velocidad por cada semana.....	80
Tabla 34. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el coagulante a 200 rpm de velocidad por cada semana.....	81

Tabla 35. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el coagulante a 300 rpm de velocidad por cada semana.....	82
Tabla 36. Respuestas de los mejores resultados de cada tratamiento aplicado a la remoción de sulfuros del agua residual de la PTAR de la EP-EMAPA-A.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A.	38
Figura 2. Etapa de ingreso del agua residual a la PTAR Mollepamba.	38
Figura 3. Etapa de reposo y salida del agua tratada hacia el río Pachanlica.	39
Figura 4. Equipos empleados durante la experimentación.	40
Figura 5. Reacción tras la aplicación del reactivos de detección de sulfuros en distintos puntos de la PTAR.	53
Figura 6. Simulación del sistema de aeración	56
Figura 7. Resultados de la cantidad de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de aeración aplicados por semana.	56
Figura 8. Resultados de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de aeración aplicados a las muestras de agua residual por semana.	57
Figura 9. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de aeración aplicados por semana.	58
Figura 10. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de aeración aplicados por semana.	58
Figura 11. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de aeración aplicados a las muestras de agua residual por semana.	60
Figura 12. Prueba de jarras (HACH) con la aplicación del oxidante a diferentes concentraciones	62
Figura 13. Reacción tras la aplicación del reactivo para identificar sulfuros en las pruebas con oxidante a diferentes concentraciones.	62
Figura 14. Resultados resumen de la cantidad de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de oxidación aplicados por semana.	63
Figura 15. Resultados resumen promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual por semana.	64
Figura 16. Resultados resumen de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de oxidación aplicados por semana.	65
Figura 17. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de oxidación.	66

Figura 18. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual a 100 rpm de velocidad por semana	69
Figura 19. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual a 200 rpm de velocidad por semana	70
Figura 20. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual a 300 rpm de velocidad por semana	71
Figura 21. Prueba de jarras (HACH) con la aplicación del coagulante a diferentes concentraciones	72
Figura 22. Reacción tras la aplicación del reactivo para identificar sulfuros en las pruebas con coagulante a diferentes concentraciones	73
Figura 23. Resultados resumen de la cantidad de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de coagulación aplicados por semana..	74
Figura 24. Resultados resumen promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulación aplicados a las muestras de agua residual por semana.....	74
Figura 25. Resultados resumen de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de coagulación aplicados por semana..	76
Figura 26. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de coagulación.....	77
Figura 27. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulación aplicados a las muestras de agua residual a 100 rpm de velocidad por semana.	80
Figura 28. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulación aplicados a las muestras de agua residual a 200 rpm de velocidad por semana.	81
Figura 29. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulante aplicados a las muestras de agua residual a 300 rpm de velocidad por semana	82

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la oportunidad de cumplir con una de mis metas a nivel académico y profesional.

A mi padres, mi hermano y Fernando quienes con su paciencia, cariño, apoyo y comprensión han hecho posible la culminación de esta etapa.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato que me facilitó sus instalaciones para el desarrollo de la investigación y a sus analistas que me brindaron apoyo durante la ejecución, Ing. Andrea Tirado e Ing. Gianine Sánchez.

Al Ing. Edison Jordán, Mg. por su constante motivación, colaboración y atención al desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros y amigos, Erika Moya y Marcelo Tirado con quienes compartí esta preparación.

A todos quienes en algún momento fueron parte de este proyecto con sus consejos, recomendaciones y apoyo.

Muchas gracias.

DEDICATORIA

Este logro académico, todo el esfuerzo y la dedicación que el proyecto implicó están dedicados con muchísimo cariño a mis padres Victor y Graciela que siempre han estado acompañándome y motivándome en este desarrollo profesional. A mi hermano Steven por ser una de las personas más importantes en mi vida, por su paciencia y cariño. A Fernando por ser incondicional, mi compañero y brindarme su apoyo a lo largo de este trabajo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN QUÍMICA MENCIÓN QUÍMICA FÍSICA

TEMA:

Análisis del proceso de remoción de sulfuro por distintos métodos en aguas residuales de la planta de tratamiento Mollepamba de la EP-EMAPA-A

AUTOR: Ingeniera Paola Cristina Pérez Fernández

DIRECTOR: Ingeniero Edison Patricio Jordán Hidalgo, Mg.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Medio Ambiente

FECHA: 28 de mayo de 2021

RESUMEN EJECUTIVO

La planta de tratamiento de agua residual (PTAR) Mollepamba de la Empresa Pública EMAPA-A presenta problemáticas respecto a la cantidad de sulfuros que contiene el agua que se descarga al río Pachanlica. Al analizar los parámetros fisicoquímicos exigidos por la normativa TULSMA, se identifica que el tratamiento que mantiene la PTAR no es suficiente pues incrementa la carga de sulfuros, sobrepasando el límite permitido (0.5mg/L). Como solución, se analizaron tres distintas metodologías: *aeración*, *oxidación avanzada (H₂O₂)* y *coagulación (PAC)*. Cada metodología fue aplicada considerando diferentes tiempos, concentraciones y velocidad de mezclado. Como resultados de la experimentación se concluye que la técnica de aeración alcanza una remoción de sulfuros del 12%; oxidación el 33% y coagulación el 91%. La mejor opción implica el empleo del coagulante con una dosificación de 150 mg/L y una velocidad de mezclado de 300 rpm, condiciones que favorecen la atracción de cargas para dar lugar a la sedimentación y remoción del contaminante. La aplicación del tratamiento mencionado redujo la carga de sulfuros de 0.337 a 0.03mg/L, ajustándose a la normativa. Finalmente, la investigación muestra que las metodologías aplicadas no tienen un efecto considerable sobre la temperatura y el pH pues su variación es mínima.

Palabras clave: Aeración, coagulación, disminución, oxidación avanzada, PAC, peróxido de hidrógeno, PTAR, remoción, sulfuros, tratamiento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN QUÍMICA MENCIÓN QUÍMICA FÍSICA

THEME:

Analysis of the sulphide removal process by different methods in wastewater from the
Mollepamba treatment plant of EP-EMAPA-A

AUTHOR: Engineer, Paola Cristina Pérez Fernández

DIRECTED BY: Engineer, Edison Patricio Jordán Hidalgo, Mg.

LINE OF RESEARCH: Environment

DATE: May 28. 2021

EXECUTIVE SUMMARY

The Mollepamba wastewater treatment plant (WWTP) of the Public Company EMAPA-A presents problems regarding the amount of sulfides contained in the water that is discharged into the Pachanlica river. When analyzing the physicochemical parameters required by the TULSMA regulation, I know that the treatment maintained by the WWTP is not enough because it increases the sulfide load, exceeding the allowed limit (0.5mg / L). As a solution, three different methodologies were analyzed: aeration, advanced oxidation (H₂O₂) and coagulation (PAC). Each methodology was applied considering different mixing times, concentrations and speed. As results of the experimentation, it is concluded that the aeration technique achieves a sulfide elimination of 12%; oxidation 33% and coagulation 91%. The best option involves the use of the coagulant with a dosage of 150 mg / L and a mixing speed of 300 rpm, conditions that favor the attraction of loads to give rise to sedimentation and removal of the contaminant. The application of the aforementioned treatment reduced the sulfide load from 0.337 to 0.03mg / L, adjusting to the regulations. Finally, the research shows that the applied methodologies do not have a considerable effect on temperature and pH since their variation is minimal.

Keywords: Advanced oxidation, aeration, coagulation, decrease, hydrogen peroxide, PAC, removal, sulfides, treatment, WWTP.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Según varias investigaciones, una de las problemáticas actuales con mayor incidencia en el medio ambiente es la contaminación de cuencas hídricas, la cual se origina principalmente a través de actividades antropogénicas como agricultura e industria en forma general [1].

El cantón Ambato, provincia de Tungurahua, mantiene dentro de sus principales actividades productivas, el procesamiento del cuero originando la descarga de aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica, sulfuros, compuestos nitrogenados, metales pesados y sólidos suspendidos, que afectan considerablemente el medio ambiente [2]. Bajo estas condiciones el agua residual no debería desembocarse en cuencas hídricas o en redes de alcantarillado sin ningún tratamiento [3].

Con base en lo mencionado, la Empresa Pública – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado – Ambato (EP-EMAPA-A), busca depurar el agua residual a través de sus 17 Unidades de Trabajo correspondientes a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) [4]. Sin embargo, se puede mencionar que la planta “Mollepamba” no logra su cometido ya que existen parámetros tales como el contenido de sulfuros que no cumplen con el límite permisible solicitado por la normativa actual vigente TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente) Libro VI. Anexo I. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce[5].

La empresa busca alternativas para la remoción de dicho contaminante a través de procesos que sean factibles y de sencilla aplicación [6]. De modo que el proyecto tiene como finalidad, identificar el mejor tratamiento considerando puntos de control como temperatura y pH, adición de químicos y su dosificación. La finalidad de la investigación es lograr la remoción de sulfuros para el cumplimiento de la normativa vigente [7].

La remoción del contaminante se evaluará por distintos métodos bajo parámetros que permitan una proyección a futuro que alcanzaría una eficiencia en la reducción de sulfuros entre el 80 y 90%. La implementación de los métodos propuestos: *aeración*,

oxidación avanzada (AOP) y coagulación, no representan gran inversión y pueden aplicarse de forma sencilla [8].

1.2. Justificación

La contaminación indiscriminada del agua es una de las grandes problemáticas suscitada a nivel mundial. A nivel industrial, el agua forma parte de la mayoría de procesos de producción o de limpieza; sin embargo, dependiendo del tipo de industria o la actividad, el agua residual contendrá diferentes contaminantes como cromo, sulfuros, tensoactivos, entre otros. Para que el agua residual pueda reutilizarse o devolverse al medio natural debe ser tratada [9]. Mollepamba, sector de la parroquia Picaihua del cantón Ambato, tiene como principales actividades la agricultura, crianza de truchas y curtiembre; generando aguas residuales cargadas de metales pesados, sulfuros y detergentes [10]. Con la finalidad de disminuir la contaminación a cuerpos de agua dulce la EP-EMAPA-A colocó una PTAR en el sector. Uno de los principales problemas de la PTAR Mollepamba durante los últimos años, ha sido el no lograr cumplir con los valores exigidos por el TULSMA en el parámetro de sulfuros ya que se exige como máximo 0.5 mg/L del contaminante [11]. De acuerdo al análisis realizado por la EP-EMAPA-A los valores alcanzados en la PTAR oscilan entre 20 y 30 mg/L superando el límite permisible antes mencionado [12].

El problema del sulfuro en agua radica en que por su carácter reductor logra inhibir la acción de la enzima oxidasa afectando de forma significativa el crecimiento de plantas y la permanencia de especies [13]. Además, su facilidad para reaccionar y formar otros compuestos como sulfuro de hidrógeno puede originar daños en la salud pulmonar de quienes tengan una exposición frecuente y prolongada al contaminante [8]. Por lo antes mencionado, la EP-EMAPA-A busca plantear un método que permita remover sulfuros y que la descarga en el río Pachanlica, ubicado bajo la PTAR, pueda realizarse sin afectar el medio ambiente. Para el análisis se han considerado métodos como: *la aeración, la oxidación avanzada (AOP) y la coagulación* [8]. Los tratamientos a evaluarse fueron propuestos ya que tienen opción a una posterior implementación por su efectividad, factibilidad a nivel económico y operacional. Con el objetivo de cumplir con la normativa vigente (TULSMA) y devolver al río agua que no comprometa el medio ambiente y la salud de los pobladores, se busca evaluar el método más eficaz a

través de la experimentación para brindarle a la empresa alternativas de valor para su posterior implementación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el proceso de remoción de sulfuro por distintos métodos en aguas residuales de la Planta de Tratamiento Mollepamba de la EP-EMAPA-A.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua residual de la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A según los parámetros fisicoquímicos descritos en la normativa ambiental vigente del TULSMA Libro VI. Anexo I. Tabla 9.
- Establecer parámetros críticos en los distintos tratamientos para la remoción de sulfuros del agua residual de la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A.
- Identificar el efecto de los distintos métodos para la remoción de sulfuros sobre el pH y temperatura de acuerdo al tiempo de tratamiento.
- Determinar el método más adecuado para la remoción de sulfuros de agua residual considerando su eficacia y relación costo beneficio.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En este capítulo se realiza una revisión general de los elementos que están involucrados dentro de la propuesta y sustentan la importancia del proyecto.

La investigación busca evaluar la mejor alternativa para la remoción de sulfuros en la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A, con la finalidad de devolver al río Pachanlica agua que cumpla con los parámetros establecidos por la normativa vigente y no afecte a la salud de los moradores del sector que utilizan el efluente para actividades cotidianas como la cocina o limpieza. Finalmente, el mejor método de acuerdo al costo beneficio tiene la proyección de ser implementado en la PTAR Mollepamba y podría replicarse en unidades con problemas similares en este parámetro.

2.1. Antecedentes del recurso hídrico

El agua por definición se caracteriza como un recurso vital indispensable para el desarrollo de la vida, para los seres humanos, animales y plantas; es necesaria en actividades antropogénicas como agricultura, ganadería, industria, limpieza y se relaciona estrechamente con el número de habitantes [14]. Se precisa como una sustancia incolora, inodora, transparente e insípida, sin embargo, estas características se ven alteradas tras procesos industriales [15]. Para algunos autores, el agua es considerada un recurso renovable pues resurge y se preserva a través de su ciclo, aunque actualmente es un tema de debate ya que su consumo aumenta y sus fuentes de suministro constantemente se enfrentan a una problemática mundial de contaminación que pone en duda lo antes mencionado [14].

Las aguas superficiales y subterráneas se consideran como principales fuentes de suministro de agua, no obstante, su calidad se ve expuesta con frecuencia a alteraciones generadas por la polución [16]. Por esta problemática y otras relacionadas al ambiente, el estado busca regular y establecer compromisos sólidos para su protección. Tal es así, que el Ecuador en su Constitución menciona regular toda actividad que afecte la calidad y cantidad del agua y el equilibrio y sustentabilidad de los sistemas inherentes al recurso hídrico y su consumo [17].

2.1.1. Contaminación del recurso hídrico

Las distintas actividades antropogénicas desarrolladas cerca de sistemas fluviales o demandantes del recurso hídrico en exceso afectan de forma significativa la cantidad y calidad del agua provocando un impacto negativo en la salud y el medio ambiente. En el Ecuador, la composición del agua se ve afectada por la constante exposición a sustancias químicas, orgánicas o industriales que llegan a sus efluentes tras ser empleadas por empresas sin responsabilidad social ni compromiso medio ambiental que no mantienen tratamientos posteriores o de prevención frente a la contaminación del recurso [18]. Las fuentes superficiales y subterráneas están sufriendo un deterioro ambiental que va en aumento por falta de control del cumplimiento de la normativa ambiental, uso indiscriminado de químicos no biodegradables y en el caso de Ecuador, la descarga de aguas residuales provenientes de industrias mineras, hidrocarburíferas y agricultura sin ningún tratamiento [19]. Ciudades como Quito, Cuenca, Riobamba, Latacunga, Esmeraldas y Ambato, mantienen gran actividad industrial, por lo cual la contaminación del recurso hídrico genera una gran preocupación pues muy pocas empresas de las ciudades en mención cuentan con tratamiento de aguas residuales [20]. Ambato, es un sector productivo y sobre todo comercial que entre sus actividades principales destaca el procesamiento del cuero como parte de la industria curtiembre. El levantamiento catastral realizado en el 2017 determinó un total de 67 industrias de cuero; 10 de ellas se encontraron inactivas, dejando a 57 funcionales [21]. De hecho, de las 57 curtiembres registradas en el cantón, 20 no registran su actividad a través del registro único de contribuyentes [2]. Esta actividad genera como resultado del proceso de curtido la descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica y compuestos inorgánicos como sulfuros, compuestos nitrogenados, metales pesados y sólidos suspendidos no biodegradables [3].

La problemática en escenarios como el mencionado, se origina ya que la carga alta de materia orgánica genera un consumo excesivo de oxígeno provocando condiciones anaerobias de biodegradación que afectan a las especies acuáticas y favorecen el desarrollo de sustancias secundarias como metano y dióxido de carbono. Valores altos de pH y sulfatos pueden originar corrosión mientras que los sulfuros podrían provocar generación de gases como sulfuro de hidrógeno. Bajo esas condiciones de riesgo

ambiental, este tipo de agua residual no debería ser desembocada sin ningún tratamiento en cuencas hídricas, alcantarillado o mezclarse con otras efluentes [3].

2.1.2. Actividades contaminantes

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de actividades cotidianas y a nivel industrial. Las principales fuentes de contaminación de este recurso se originan por actividades antropogénicas relacionadas al trabajo con hidrocarburos, aceites, centrales termoeléctricas, usos domésticos, desechos sólidos, descargas de agua con metales o químicos y el tratamiento inadecuado de aguas residuales o su ausencia [22]. Las actividades tecnológicas, industriales y domésticas que implican el uso del recurso hídrico o se realizan cerca de cuerpos de agua generan un sin número de alteraciones en su composición y calidad [23].

El cantón Ambato comprende distintas parroquias como Izamba, Atahualpa, Cunchibamba, Picaihua, Ambatillo y San Bartolomé de Pinillo; dentro de las cuales se encuentran la mayor cantidad de industrias dedicadas a la actividad del procesamiento del cuero, llamadas curtiembres. El 90% corresponde al procesamiento de cuero y el 67% a la producción de calzado de cuero a nivel nacional; existen 50 curtiembres registradas en Ambato, que como resultado del proceso de curtido descargan aguas residuales con un considerable contenido de contaminantes para el efluente de descarga [24]. Las curtiembres dentro de sus procesos están obligadas por el Honorable Consejo Provincial de Tungurahua a mantener un saneamiento de sus aguas residuales y se rigen en la normativa ambiental vigente del TULSMA, sin embargo, muchas empresas no cumplen lo solicitado.

Un estudio realizado indica, que en Ambato el 16.67% del total de curtiembres corresponden a empresas de nivel medio; el 1.85% a empresas de gran nivel y el 81.48% a artesanales. De las empresas en mención, sólo el 52.94% disponían de licencia ambiental y cumplen con la normativa, por lo tanto, resulta indispensable que las curtiembres reduzcan la carga de contaminación en las descargas finales de aguas residuales en los cuerpos de agua dulce donde desembocan [21].

2.2. Aguas residuales

Se define como agua residual a aquellas aguas que mantienen modificadas sus características originales por la presencia de sustancias ajenas a causa de actividades antropogénicas. Este tipo de aguas deben ser tratadas antes de verterse a un cuerpo natural o antes de descargarlas al sistema de alcantarillado [25]. Las alteraciones a los cuerpos hídricos implican efectos perjudiciales en su calidad deteriorando el recurso para usos posteriores ya que está formada por una mezcla de sustancias orgánicas, inorgánicas, sólidos suspendidos y disueltos ajenos a su naturaleza [26].

Las aguas residuales son aquellas ya utilizadas que establecen un residuo que no puede ser empleado de forma directa para otros procesos pues su calidad es baja, se conocen también como aguas negras por su apariencia tras ser usadas en actividades domésticas o industriales [26]. Por su procedencia, las aguas residuales pueden clasificarse en agua residual doméstica cuando procede de actividades llevadas a cabo en las viviendas; agua residual municipal cuando se transportan a través del sistema de alcantarillado y pueden ser mezcladas con aguas de drenaje; agua residual industrial cuando resultan de un proceso productivo y agua servida o negra cuando contiene residuos biológicos, fecales y orina [26].

2.2.1. Características del agua residual

El agua residual va a adoptar distintas características dependiendo de factores externos como consumo y disponibilidad de agua potable, tipo de sistema de alcantarillado, sistemas de disposición final y existencia de desechos industriales. Se constituye comúnmente de compuestos físicos, químicos y biológicos como agua, sólidos disueltos orgánicos e inorgánicos y sólidos en suspensión [27]. La mezcla de estos componentes puede generar olores desagradables a causa de gases liberados y descomposición de la materia orgánica; esta problemática se origina principalmente por la presencia de sulfuro de hidrógeno. Este compuesto se forma a partir de la cantidad de azufre del agua residual y genera un olor característico similar al de los huevos podridos, es un gas incoloro considerado nocivo para la salud pues una exposición prolongada puede provocar irritación de ojos y afecciones al sistema respiratorio [27]. Cabe destacar la importancia del análisis de la composición del agua residual pues como se menciona

con anterioridad la carga contaminante y sus características van a cambiar dependiendo de la industria que la descarga, tal es así que, el tratamiento debe establecerse con referencia a la concentración de metales pesados, compuestos orgánicos e inorgánicos, tensoactivos, entre otros.

2.2.2. Parámetros de calidad de las aguas residuales

En la actualidad existe una gran preocupación por falta de control para el agua residual procedente sobre todo de la industria. El agua residual no recibe un tratamiento adecuado por lo que continúa en su estructura con contaminantes como antibióticos, productos de limpieza, aditivos, metales pesados o metaloides [28]. Como se menciona con anterioridad una de las actividades características de Ambato es el procesamiento del cuero, esta actividad genera una gran cantidad de agua residual no tratada de forma adecuada.

Las aguas residuales procedentes de curtiembres generalmente conllevan dentro de su matriz acuosa una serie de sustancias tóxicas como aceites y grasas, tensoactivos, elevada carga orgánica e inorgánica representada por el DQO (Demanda Química de Oxígeno) y el DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), metales pesados, etc. [29]. Para que el agua residual procedente de una industria pueda ser descargada al sistema de alcantarillado público o a un cuerpo de agua dulce debe cumplir con los parámetros establecidos por el TULSMA en las tablas a continuación:

Tabla 1. Límites para descarga al Alcantarillado

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	70.0
Aluminio	Al	mg/L	5.0
Cianuro Total	CN	mg/L	1.0
Cinc	Zn	mg/L	10.0
Cloro Activo	Cl	mg/L	0.5
Cobalto Total	Co	mg/L	0.5

Cobre	Cu	mg/L	1.0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0.5
DBO (5 días)	DBO ₅	mg/L	250.0
DQO	DQO	mg/L	500.0
Fósforo Total	P	mg/L	15.0
Hierro Total	Fe	mg/L	25.0
Manganeso Total	Mn	mg/L	10.0
Níquel	Ni	mg/L	2.0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/L	60.0
Plata	Ag	mg/L	0.5
Plomo	Pb	mg/L	0.5
Selenio	Se	mg/L	0.5
Sólidos Totales	ST	mg/L	1600.0
Sulfatos	SO ₄	mg/L	400.0
Sulfuros	S ⁻	mg/L	1.0

Fuente: Tabla 8. Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público [11].

Tabla 2. Límites para descarga a cuerpos de agua dulce

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	30.0
Aluminio	Al	mg/L	5.0
Bario	Ba	mg/L	2.0
Boro Total	B	mg/L	2.0
Cinc	Zn	mg/L	5.0
Cloro Activo	Cl	mg/L	0.5
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000.0
Cobalto	Co	mg/L	0.5
Cobre	Cu	mg/L	1.0
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000.0

Estaño	Sn	mg/L	5.0
Fluoruros	F ⁻	mg/L	5.0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0.5
DBO (5 días)	DBO ₅	mg/L	100.0
DQO	DQO	mg/L	200.0
Hierro Total	Fe	mg/L	10.0
Manganeso Total	Mn	mg/L	2.0
Níquel	Ni	mg/L	2.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50.0
Plomo	Pb	mg/L	0.2
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	130.0
Sulfatos	SO ₄	mg/L	1000.0
Sulfuros	S ⁻	mg/L	0.5

Fuente: Tabla 9. Límites de Descarga a un cuerpo de Agua Dulce [11].

La ausencia de un tratamiento eficiente de aguas residuales representa problemáticas colectivas que no han sido resueltas por falta de conocimiento o de recursos por parte de las personas que se dedican a la industria del cuero.

2.2.3. Principales contaminantes del agua

La contaminación del agua se genera a partir del uso y desecho indiscriminado de sustancias tóxicas como metales pesados, compuestos nitrogenados, compuestos orgánicos y microorganismos que pueden afectar las características estructurales, organolépticas e incluso promover el desarrollo de eutrofización afectando de forma significativa la vida de especies [15]. Por lo mencionado, los parámetros del agua según su origen y su destino deben ser constantemente monitoreados, evaluados y ajustarse a la normativa actual vigente en el país. Los parámetros físicos, químicos y biológicos brindan un indicador de la calidad del recurso hídrico y por ende permiten anticipar tratamientos y evitar mayor contaminación [30]. El control de estos parámetros en el

Ecuador y de acuerdo al Ministerio del Ambiente se lleva a cabo bajo la normativa del TULSMA que resalta contaminantes con efectos negativos a corto, mediano y largo plazo no solo en la salud de los seres vivos sino en el medio ambiente [11].

Las sustancias consideradas como contaminantes por ser ajenas a la composición estándar del agua o sobrepasar los límites de concentración permitidos están emergiendo cada vez con más frecuencia en aguas superficiales y aguas subterráneas como consecuencia de las emisiones a causa de las industrias, los derrames accidentales y la ineficaz disposición de residuos sólidos; estas actividades se consideran una fuente de contaminación dispersa y no controlada pues los tratamientos actuales no logran el propósito por completo [31]. Dentro de los contaminantes principales destacan:

- **Sólidos en suspensión**

Se definen como materia insoluble, de naturaleza orgánica o inorgánica procedente de fuentes domésticas o industriales. Normalmente incrementan la turbidez del agua imposibilitando la supervivencia de las especies y los procesos del ecosistema [31].

Los sólidos suspendidos engloban a partículas de sedimento, desechos humanos, desperdicios de comida, líquidos inmiscibles como aceites y grasas, restos de plantas, entre otros. Su control se convierte en un parámetro importante ya que si no se limita puede desarrollar depósitos de fango que perjudican la vida de especies acuáticas y reducen la fotosíntesis [31]. La concentración de los sólidos en suspensión se expresa empleando partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L) de acuerdo al contexto y la utilidad de la evaluación. De acuerdo a la normativa actual TULSMA el límite permisible para que el agua residual pueda ser descargada a un cuerpo de agua dulce es de 130 mg/L [11].

- **Materia orgánica**

Se considera materia orgánica a aquellas sustancias que en su composición contienen carbono, generalmente son sustancias hidrófobas con poca solubilidad al agua. En el agua residual suelen encontrarse concentraciones del 25 al 50% de proteínas, del 40 al 60% de carbohidratos y aproximadamente el 10% de grasas y aceites. En este grupo

también se incluyen detergentes, compuestos volátiles y agroquímicos [27]. Los residuos sólidos que constituyen el agua residual suelen formarse por material mineral, proveniente de los subproductos de desecho de la vida cotidiana y materia orgánica generada a partir de la actividad humana constituida por materia carbonácea, grasa y proteínas [27].

El contenido de contaminación por materia orgánica puede medirse a través de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), este índice mide la cantidad de oxígeno que se consume en un volumen específico de agua considerando tiempos y temperaturas controladas [27]. Este parámetro se entiende también como la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos en el proceso oxidativo de la materia orgánica, el obtener un valor alto en este parámetro implica contaminación y mala calidad del agua [32]. Otra de las pruebas más empleadas en relación a la materia orgánica es la demanda química de oxígeno (DQO), este parámetro se encarga de medir de forma indirecta el contenido orgánico en agua residuales. Se define como la cantidad de oxígeno para oxidar químicamente a la materia orgánica o la cantidad de oxígeno que puede oxidarse por la presencia de un químico oxidante [33]; se caracteriza por ser un ensayo rápido comparado al DBO5 y con menor probabilidad de presentar cambios. La diferencia radica en que el DQO permite comprobar la carga orgánica del agua residual que no es biodegradable o que inhibe la acción de los microorganismos pues los compuestos orgánicos se oxidan con mayor facilidad de forma química y no biológica [31]. Ambos parámetros se miden en las unidades mg/L y se conoce que el DQO será mayor al DBO5 por ello de acuerdo a la normativa actual TULSMA, el límite permisible para que el agua residual pueda ser descargada a un cuerpo de agua dulce es de 200 y 100 mg/L respectivamente [11].

- **Patógenos**

Las aguas residuales se consideran fuente principal de contaminación por microorganismos patógenos pues su transmisión se facilita por este medio. La presencia de microorganismos en el agua puede establecerse por meses o más tiempo ya que se asocian a sólidos o se sedimentan [27]. Los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y demás microorganismos capaces de transmitir enfermedades son considerados como patógenos y provocan gran cantidad de trastornos; estos

microorganismos comúnmente llegan al agua a través de restos orgánicos y fecales [27]. Generalmente se derivan de aguas residuales domésticas y están cargadas de amonio y nitrógeno a causa de las excretas [33]. Se han propuesto tratamientos biológicos que disminuyen la problemática, sin embargo, destacan las lagunas de maduración que con un tiempo de retención del agua y un efecto desinfectante logran la remoción del principal patógeno, coliformes fecales [31].

- **Metales pesados**

Los metales pesados son los contaminantes más abundantes encontrados en aguas residuales pues se generan a partir de operaciones industriales como el curtido del cuero, fabricación de pigmentos y la conservación de madera [34]. Entre los metales pesados detectados se pueden destacar el plomo, cadmio, selenio, cobre y cromo, considerado un potente agente cancerígeno, tóxico y causante de enfermedades alérgicas y respiratorias [35].

Los metales pesados presentes en el agua residual a causa de actividades industriales pueden ser peligrosos al no ser biodegradables ya que la toxicidad que presentan puede repercutir en la calidad del suelo o las plantas expuestas a estos contaminantes por la subutilización del recurso hídrico sin el tratamiento adecuado [36]. La complicación con los metales pesados surge por su efecto bioacumulativo pues en concentraciones superiores a las recomendadas pueden generar daños a la salud [37] por ello se establecen estudios para su remoción, destacando procesos biotecnológicos, de adsorción, intercambio iónico, entre otros [38].

- **Nutrientes**

Los nutrientes que generalmente llegan a las aguas residuales son nitrógeno y fósforo a causa de actividades antrópicas que involucran materia orgánica, detergentes o fertilizantes [14], ambas son sustancias solubles en agua y se aprovechan por las plantas, para su desarrollo pues son nutrientes indispensables. Sin embargo, su exceso también puede provocar una gran contaminación en el agua superficial y subterránea [39]. Cuando el agua presenta un valor bajo de pH, la solubilidad de estos nutrientes

incrementa favoreciendo el crecimiento de plantas acuáticas y algas. El inconveniente principal, eutrofización, se origina ya que las algas demandan un gran consumo de oxígeno disuelto en el agua para su crecimiento comprometiendo el recurso para las demás especies acuáticas que formen el hábitat [40]. Durante los últimos años, se han propuesto alternativas para la remoción de los nutrientes causantes de la problemática y se han ido implementando modificaciones tecnológicas e ingenieriles a procesos unitarios que deberían mantener las PTAR bajo condiciones anaerobias y aerobias que permitan prevenir inconvenientes futuros con la flora y fauna acuática [41].

- **Sólidos inorgánicos disueltos**

A causa de las distintas actividades industriales y comerciales, el recurso hídrico puede contaminarse con constituyentes inorgánicos como calcio, sodio y azufre. Estos elementos pueden originar problemas al generar sedimentos o combinarse con otros elementos generando consecuencias como olores desagradables en el caso del azufre [39]. Los sólidos disueltos son comúnmente sales inorgánicas como cloruros, sulfatos, sodio y calcio que en el medio suelen comportarse como iones y por ello su presencia cuantitativamente se puede medir a través del valor de la conductividad térmica [42].

Cabe destacar el caso particular del sulfuro por su consecuencia inmediata en las PTAR, el inconveniente radica en que el sulfuro por su carácter reductor logra inhibir la acción de la enzima oxidasa que participa en el proceso de respiración aerobia mitocondrial y genera la reducción de la captación de nitrógeno y por ende el crecimiento de las plantas afectando de forma significativa la vida acuática [13]. Además, su facilidad para reaccionar y formar otros compuestos como el sulfuro de hidrógeno considerado un gas tóxico, de olor característico y penetrante puede originar daños en la salud pulmonar de quienes tengan una exposición frecuente y prolongada al contaminante [8].

2.2.4. Efectos de la contaminación por las aguas residuales

El agua residual sin tratamiento o con tratamientos inadecuados genera graves problemas pues puede infiltrarse al subsuelo y contaminar el agua subterránea afectando a todo el ciclo del agua [25]. Problemas a nivel mundial, como la contaminación

indiscriminada de recursos y el calentamiento global han provocado gran preocupación por la probable escasez del agua para uso urbano, riego y producción agrícola. Como parte de la solución se propone el tratamiento y reutilización del agua residual, sin embargo, existen riesgos altos a la salud debido a la presencia de patógenos, metales pesados y consecuencias a la exposición prolongada durante el tratamiento [43].

A pesar de la importancia de considerar la reutilización del agua como una alternativa, está claro que se deberían cumplir las políticas ambientales y la normativa actual vigente respecto a las descargas y tratamientos de aguas residuales pues el riesgo podría cobrar vidas [44].

Dentro de las problemáticas a causa de las aguas residuales se puede destacar que los procesos industriales deberían implementar más controles pues en el caso de Ambato, el procesamiento del cuero, que es considerada la actividad principal genera agua con alta carga de metales pesados y sulfuros poniendo en peligro a todo el ecosistema ya que la acción de las sustancias es tóxica a corto y largo plazo y las PTAR disponibles no logran disminuir la concentración de dichos contaminantes [44].

2.3. Unidades de trabajo EP-EMAPA-A

De acuerdo a investigaciones, los sistemas para depuración de agua que se han implementado en Ambato en distintos sectores industriales, no tienen evidencia de una reducción considerable y suficiente de todos los parámetros contaminantes. Los sistemas biológicos y de degradación de material residual no se encuentran en todos los puntos de descarga y no logran cumplir las exigencias que marca la normativa [45].

Por todo lo antes mencionado y como parte de la gestión del cuidado medio ambiental del cantón, funcionarios del Ministerio del Ambiente, Gobierno Descentralizado Provincial de Tungurahua, Representantes del Parque Industrial Ambato y sobre todo la Empresa Pública - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato establecieron acuerdos y responsabilidades para el control y manejo de las descargas de aguas residuales industriales a cuerpos de agua dulce [4]; es así que la EP-EMAPA-A posee alrededor de 17 Unidades de Trabajo correspondientes a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) alrededor del cantón.

2.3.1. Plantas de Tratamiento

La EP-EMPA-A cuenta actualmente con 17 PTAR operativas que cumplen un trabajo de depuración por medio un tratamiento anaerobio. Las PTAR estructuralmente presentan un pretratamiento logrado a través una rejilla y un desarenador; un tratamiento primario a través de una trampa de grasa; un tratamiento secundario por medio de una fosa séptica y un tratamiento terciario que implica la desinfección con cloro. La carga contaminante o carga másica que se maneja en cada una de las PTAR, se expresa en unidades de kilogramo por día y se define como la medida que representa la masa contaminante por unidad de tiempo que se vierte a una corriente residual [46]. Para evaluar el correcto funcionamiento de una PTAR, la EP-EMAPA-A basándose en la normativa actual evalúa parámetros como el DBO5, DQO, sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SST), sólidos sedimentados (SD), aceites y grasas, arsénico total, cadmio, cobre, cromo hexavalente, fósforo total, Potencial hidrógeno, sulfuros, tensoactivos, entre otros [46].

A continuación, se describe a través del análisis de los parámetros, el funcionamiento de cada una de las PTAR de la empresa durante los último años.

- **PTAR SHUYURCO**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 19 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 8.05 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 65% y de DQO de 70%; es una PTAR con alta carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3. Parámetros de control aplicados en la PTAR Shuyurco durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	273.83	300	190.54	492.48
DQO (mg/L)	841	630	585.17	1034.21
Sulfuros (mg/L)	2.23	0.3	1.55	0.49
Sulfatos (mg/L)	160.75	250	111.85	410.40
Temperatura (°C)	18.07	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	4.75	0.3	3.31	0.49

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR TECHO PROPIO 1**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 2 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 2.6 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 52% y de DQO de 47%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4. Parámetros de control aplicados en la PTAR Techo Propio 1 durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	285.88	216	64.14	37.32
DQO (mg/L)	586.38	320	131.55	65.66
Sulfuros (mg/L)	0.41	0.15	0.09	0.03
Sulfatos (mg/L)	92.63	250.00	20.78	43.20
Temperatura (°C)	19.44	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	14.58	0.30	3.27	0.05

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

Tabla 5. Parámetros de control aplicados en la PTAR Techo Propio 2 durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	3.00	200.00	0.06	17.28
DQO (mg/L)	15.00	450.00	0.32	38.88
Sulfuros (mg/L)	0.00	0.15	0.00	0.01
Sulfatos (mg/L)	0.00	250.00	0.00	21.60
Temperatura (°C)	8.50	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	0.62	0.30	0.01	0.03

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR TECHO PROPIO 3**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 2 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 1.96 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 60% y de DQO de 40%; es una PTAR con alta carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 6. Parámetros de control aplicados en la PTAR Techo Propio 3 durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	490.33	240	83.04	41.47
DQO (mg/L)	918.56	320.00	155.55	55.80
Sulfuros (mg/L)	0.84	0.15	0.14	0.03
Sulfatos (mg/L)	111.33	250.00	18.85	43.20
Temperatura (°C)	18.91	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	14.56	0.30	2.46	0.05

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR TIUGUA BAJO**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 1 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 1.29 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 59% y de DQO de 47%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 7. Parámetros de control aplicados en la PTAR Tiugua Bajo durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	233.75	235	25.99	20.30
DQO (mg/L)	524.88	330	58.35	28.51
Sulfuros (mg/L)	0.71	0.15	0.09	0.01
Sulfatos (mg/L)	102.89	125.00	11.44	10.80
Temperatura (°C)	20.23	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	143.33	0.30	15.93	0.03

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR TIUGUA EL PARQUE**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 2 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 2.92 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 48% y de DQO de 48%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 8. Parámetros de control aplicados en la PTAR Tiugua El Parque durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	276.38	200.00	69.73	34.56
DQO (mg/L)	649.63	330	163.89	57.02
Sulfuros (mg/L)	0.57	0.15	0.13	0.03
Sulfatos (mg/L)	104.13	250	26.27	43.20
Temperatura (°C)	19.24	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	10.90	0.3	2.75	0.05

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR PICAIHUA**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 2 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 2.37 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 54% y de DQO de 30%; es una PTAR con alta carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 9. Parámetros de control aplicados en la PTAR Picaihua durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	294.75	210.00	60.27	36.29
DQO (mg/L)	966.63	285.00	197.66	49.25
Sulfuros (mg/L)	9.12	0.15	1.87	0.03
Sulfatos (mg/L)	189.75	250.00	38.80	43.20
Temperatura (°C)	18.25	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	660.45	0.30	135.05	0.05

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR MOLLEPAMBA**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 1 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 1.82 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 43% y de DQO de 20%; es una PTAR con alta carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 10. Parámetros de control aplicados en la PTAR Mollepamba durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	593.88	175.00	93.56	15.12
DQO (mg/L)	1502.25	250.00	236.66	21.60
Sulfuros (mg/L)	17.28	0.15	2.72	0.01
Sulfatos (mg/L)	141.00	250.00	22.21	21.60
Temperatura (°C)	18.13	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	8.82	0.30	1.39	0.03

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR CUNCHIBAMBA**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 2.5 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 3.37 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 67% y de DQO de 30%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 11. Parámetros de control aplicados en la PTAR Cunchibamba durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	184.00	300.00	53.57	64.80
DQO (mg/L)	408.00	285.00	118.80	61.56
Sulfuros (mg/L)	0.33	0.15	0.10	0.03
Sulfatos (mg/L)	70.00	250.00	20.38	54.00
Temperatura (°C)	17.98	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	6.42	0.30	1.87	0.06

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR PUERTO ARTURO**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 2.5 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 3.29 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 54% y de DQO de 45%; es una PTAR con alta carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 12. Parámetros de control aplicados en la PTAR Puerto Arturo durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	316.44	215.00	89.95	46.44
DQO (mg/L)	776.67	363.00	220.77	78.41
Sulfuros (mg/L)	0.67	0.15	0.19	0.03
Sulfatos (mg/L)	228.22	250.00	64.87	54.00
Temperatura (°C)	19.92	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	8.77	0.30	2.49	0.06

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR ZONA NORTE**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 1.5 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 2.04 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 48% y de DQO de 39%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 13. Parámetros de control aplicados en la PTAR Zona Norte durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	238.75	187.00	42.08	24.24
DQO (mg/L)	605.13	326.00	94.81	42.25
Sulfuros (mg/L)	4.07	0.15	0.72	0.02
Sulfatos (mg/L)	159.00	250.00	28.02	32.40
Temperatura (°C)	18.78	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	4.21	0.30	0.74	0.04

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR INDOAMERICA**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 1 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 2.15 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 52% y de DQO de 45%; es una PTAR con alta carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 14. Parámetros de control aplicados en la PTAR Indoamerica durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	455.56	202.00	84.76	17.45
DQO (mg/L)	926.78	360.00	172.43	31.10
Sulfuros (mg/L)	0.54	0.15	0.10	0.01
Sulfatos (mg/L)	65.11	250.00	12.11	21.60
Temperatura (°C)	19.14	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	10.36	0.30	1.93	0.03

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR PERAL**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 2.5 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 0.53 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 80% y de DQO de 61%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 15. Parámetros de control aplicados en la PTAR Peral durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	118.33	420.00	5.42	90.72
DQO (mg/L)	260.78	500.00	11.94	108.00
Sulfuros (mg/L)	0.60	0.15	0.03	0.03
Sulfatos (mg/L)	63.89	250.00	2.93	54.00
Temperatura (°C)	18.59	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	7.60	0.30	0.35	0.06

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR PILAHUIN**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 1 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 2.68 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 26% y de DQO de 16%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 16. Parámetros de control aplicados en la PTAR Pilahuin durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	185.22	133.00	42.89	11.49
DQO (mg/L)	368.44	230.00	85.31	19.87
Sulfuros (mg/L)	0.22	0.15	0.05	0.01
Sulfatos (mg/L)	37.11	250.00	8.59	21.60
Temperatura (°C)	12.30	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	6.02	0.30	1.39	0.03

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR CARMELITAS**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 5 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 0.57 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 73% y de DQO de 51%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 17. Parámetros de control aplicados en la PTAR Carmelitas durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	250.00	365.00	12.34	157.68
DQO (mg/L)	547.00	405.00	26.94	174.96
Sulfuros (mg/L)	1.17	0.15	0.06	0.06
Sulfatos (mg/L)	36.75	250.00	1.81	108.00
Temperatura (°C)	17.56	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	10.32	0.30	0.51	0.13

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR PUCARA GRANDE**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 5 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 0.57 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 73% y de DQO de 51%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 18. Parámetros de control aplicados en la PTAR Pucara Grande durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	250.63	365.00	12.34	157.68
DQO (mg/L)	547.00	405.00	26.94	174.96
Sulfuros (mg/L)	1.17	0.15	0.06	0.06
Sulfatos (mg/L)	36.75	250.00	1.81	108.00
Temperatura (°C)	17.56	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	10.32	0.30	0.51	0.13

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

- **PTAR CALGUASIG**

La planta de tratamiento está diseñada para tratar un caudal de 1 L/s, actualmente recibe un caudal promedio de 0.49 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 33% y de DQO de 73%; es una PTAR con baja carga orgánica [46]. El análisis se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 19. Parámetros de control aplicados en la PTAR Calguasig durante los años 2018, 2019 y 2020

Parámetros	Valores promedio de descarga	Límite máximo para que funcione la PTAR	Carga contaminante promedio (kg/d)	Carga contaminante máxima admisible (kg/d)
DBO5 (mg/L)	3.00	200.00	0.06	17.28
DQO (mg/L)	15.00	450.00	0.32	38.88
Sulfuros (mg/L)	0.00	0.15	0.00	0.01
Sulfatos (mg/L)	0.00	250.00	0.00	21.60
Temperatura (°C)	8.50	15 a 25	NA	NA
Tensoactivos (mg/L)	0.62	0.30	0.01	0.03

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].

2.4. Tratamientos de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales normalmente consta de varias etapas, entre ellas se pueden destacar tratamientos primarios que buscan una separación de los materiales sólidos pesados a través de la retención temporal del agua para que se sedimenten y se puedan separar de los más ligeros como el aceite o la grasa; tratamientos secundarios cuyo objetivo es eliminar la materia disuelta y en suspensión; y tratamientos terciarios que tienen como finalidad la desinfección del agua con procesos químicos o biológicos antes de una descarga [26].

En Ambato, de acuerdo al informe generado por la EP-EMAPA-A, se evidencia que las problemáticas más fuertes en el tratamiento de aguas residuales son los controles de sulfuros ya que este valor no logra ajustarse a la normativa vigente. Entre otras, la planta de tratamiento Mollepamba maneja alta carga orgánica y actualmente recibe un caudal promedio superior al de su diseño [46]; como se muestra en la tabla 10 los contaminantes que recibe superan el límite de la carga admisible. Sin embargo, el parámetro de mayor preocupación es la medición de sulfuros puesto que no se ha

implementado ninguna alternativa para su remoción y el valor actual sobrepasa el límite máximo para que funcione la PTAR. Por lo mencionado, la EP-EMAPA-A está analizando la implementación de un proceso que permita disminuir el contaminante a través de una metodología aplicable y eficaz a nivel económico y operativo.

2.4.1. Tratamientos para la remoción de sulfuros en aguas residuales

Una de las principales actividades en Ambato corresponde al trabajo con cuero, en el sector Picaihua, las curtidurías Moyolsa y San Jacinto cuyas aguas llegan a la PTAR Mollepamba, no obtienen un tratamiento efectivo para que el agua no sobrepase los límites permisibles. Esta problemática preocupa tanto a la empresa como al sector puesto que los restos de sulfuro provocan un olor muy desagradable y la descarga del agua que se realiza en el río Pachanlica afecta a las especies acuáticas [46].

En el proceso de producción del cuero, el pelambre de las pieles se realiza con sulfuro de sodio y cal. Posteriormente, se lleva a cabo un desencale con la finalidad de eliminar el exceso de cal, sin embargo, el sulfuro no recibe ningún tratamiento y el agua residual se queda cargada con concentraciones elevadas del contaminante que desembocan en la PTAR o directamente al cuerpo hídrico. La falta de control en el contenido de azufre en el agua residual propicia la formación de ácido sulfhídrico, un potente gas tóxico de olor desagradable, que provoca daños medio ambientales y a la salud [8].

Por lo mencionado, es importante mantener un proceso de remoción de sulfuros de aguas residuales provenientes de curtiembres, el mismo se puede realizar bajo distintos métodos entre los que se mencionan la oxidación química, coagulación y tratamientos biológicos [8]. Dentro de las técnicas más mencionadas están la aeración, coagulación/floculación, electrocoagulación, oxidación con permanganato o peróxido de hidrógeno, combinaciones con luz UVC y oxígeno disuelto, lechos filtrantes y tratamientos con ozono. Sin embargo, los excelentes resultados que se obtienen con algunos de ellos como el empleo de ozono, luz UVC o electrocoagulación; la demanda energética es alta al igual que el costo unitario y su implementación. Cabe mencionar que aunque la luz UVC está siendo una alternativa considerada en la desinfección de agua por destruir la capacidad reproductiva de los microorganismos, es un tipo de radiación nociva para los humanos por lo cual su empleo implicaría mucho cuidado y riesgos a la salud [47].

En el caso de métodos biológicos, su eficiencia es menor comparada a métodos químicos pero su costo es bajo [48]; por otro lado, se requieren grandes áreas, se generan grandes cantidades de lodos y la reacción se lleva a cabo durante días [8], para ello se requiere que el agua se mantenga retenida y la PTAR Mollepamba sólo permite la retención del líquido por aproximadamente 6 horas dificultándose este proceso [49]. Es así que, de acuerdo al contexto y a la ubicación de la PTAR Mollepamba, se han considerado métodos que se ajustan a la realidad de la empresa.

- **Aeración con oxígeno**

Los sistemas de aeración emplean el oxígeno del aire como agente oxidante considerando concentraciones adecuadas y permanentes dentro de la solución. Para que este proceso se lleve a cabo se requieren condiciones controladas que logren aumentar la velocidad de disolución del oxígeno, incrementar el tiempo de contacto de las burbujas de aire y generar burbujas del menor tamaño posible [50]. Un sistema eficiente de aeración logra reducir otros compuestos volátiles, tiempos, insumos y facilita el proceso de oxidación [7]. Los procesos de oxidación se recomiendan por su fácil instalación y costos operacionales no elevados, por ello el empleo del aire se considera una de las mejores técnicas para el tratamiento y remoción del sulfuro. Las condiciones óptimas dependerán del entorno y la concentración del contaminante, sin embargo, se sugiere un tiempo no menor a 6 horas manteniendo un caudal aproximado de $3.6 \text{ m}^3/\text{Kg}$ de sulfuro con burbujas de entre 2 y 5 mm de diámetro. Además, el pH debe mantener un valor superior a 8.5 para lograr mayor efectividad [51].

De acuerdo a otras investigaciones, para lograr oxidar el sulfuro a sulfato por aeración, la cantidad de oxígeno que se requiere corresponde a 2 g/g S^{2-} , sin embargo, se recalca que este valor dependerá de factores como la temperatura, concentración del contaminante y la eficiencia del sistema de aeración. Entre los detalles importantes se destaca que el tiempo de reacción puede reducirse al emplear un catalizador como sulfato de magnesio, permitiendo una oxidación del sulfuro de 98% [50].

- **Procesos de oxidación avanzada**

La oxidación avanzada (AOP) es considerada un proceso mucho más eficiente en relación a los convencionales pues está basado en procesos fisicoquímicos que generan cambios en la estructura química del contaminante [51], a nivel de industria lo que se busca es identificar los valores óptimos que permitan evaluar los diferentes parámetros que pueden afectar el proceso de forma positiva o negativa [52]. En sulfuros, el tratamiento a aplicarse busca transformarlos a sulfatos y azufre con el fin de disminuir la posibilidad de formar compuestos contaminantes o separarlos de la solución [53]. Entre los oxidantes propuestos para este fin destacan el permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno, ambos agentes requieren de un medio alcalino para su accionar, valores de 7.5 a 8.5 en pH son usualmente empleados pues valores inferiores generan riesgos de emisiones y valores superiores van limitando el poder del oxidante.

Los agentes mencionados no generan subproductos tóxicos y se requieren cantidades aproximadas de 3.5 g/g S²⁻, sin embargo, al no ser específicos reaccionan oxidando también materia orgánica. La diferencia entre ellos se muestra en características como el costo (menor en el peróxido), incremento de temperatura (peróxido), demanda de sobre adición de reactivo (permanganato), disponibilidad en el mercado (mayor en el peróxido), velocidad de reacción (mayor en el peróxido al ser mucho más energético) y generación de subproductos sólidos (mayor en el permanganato) [54].

Para la EP-EMAPA-A se ha seleccionado el tratamiento con peróxido de hidrógeno ya que se pueden controlar las condiciones de trabajo, tiene una alta capacidad oxidativa [53], genera muy poca o nula contaminación [55] y teóricamente se alcanza una eficacia de remoción cercana al 90% [56]. Además, es un oxidante muy energético, que no genera subproductos sólidos y existe la posibilidad de recuperación del azufre; es un método sencillo y con recursos al alcance de la institución [54].

- **Coagulación**

La coagulación es uno de los procesos más utilizados para eliminar sustancias contaminantes, para la remoción de sulfuros se han venido empleando sales férricas y de aluminio teniendo un efecto positivo en el tratamiento de aguas residuales. Cuando se emplean estos coagulantes los mecanismos son controlados por hidrólisis. La reacción

de materia disuelta con las sales metálicas forma compuestos con baja solubilidad que pueden removerse posteriormente por sedimentación [57]. En este tratamiento es muy importante considerar la carga contaminante pues de ella dependerá netamente la dosificación del coagulante y la relación estequiométrica que se pueda establecer entre ellos. Al adicionar coagulantes químicos al agua se produce una reacción química con los componentes propios del líquido, principalmente con la alcalinidad permitiendo formar un precipitado con volumen y adsorbente [57].

La coagulación logra una remoción de sulfuros de aproximadamente el 80% considerando que las condiciones pueden verse afectadas por el entorno y la demanda de reactivos generalmente es alta. Entre los coagulantes más usados destacan sulfato de aluminio que es un sólido grisáceo que reacciona con la alcalinidad del agua; cloruro férrico que puede actuar bajo diferentes valores de pH y policloruro de aluminio que logra acelerar el proceso de sedimentación de sólidos convirtiéndose en un producto excelente al no producir ninguna interferencia ni contaminación y acelerar la velocidad de floculación [58]. Para la EP-EMAPA-A se ha seleccionado el policloruro de aluminio pues presentan fuertes ventajas ya que se requieren menores cantidades, existe un residual más bajo y presentan alta velocidad de reacción [8].

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

La investigación se lleva a cabo bajo la coordinación de la EP-EMAPA-A, institución que facilitó sus instalaciones para la evaluación experimental del presente proyecto. El tema de estudio se enfoca en la zona suroeste de la ciudad de Ambato específicamente en la parroquia rural Picaihua, sector Mollepamba. La parroquia presenta aproximadamente siete curtiembres instaladas que contribuyen en gran parte a la contaminación del recurso hídrico; entre ellas, las curtidurías Moyolsa y San Jacinto desembocan sus aguas en la PTAR Mollepamba de la empresa. En ella se lleva a cabo un tratamiento de agua residual, sin embargo, no logra ser efectivo pues el agua sobrepasa los límites permisibles de la normativa TULSMA en cuanto a la disminución de sulfuros antes de desembocar en el río Pachanlica [59].

La planta de tratamiento Mollepamba fue diseñada para tratar un caudal de 1 L/s, en la actualidad recibe un caudal promedio de 1.82 L/s, y logra un porcentaje de remoción de DBO5 de 43% y de DQO de 20%. La PTAR recibe a diario agua con alta carga orgánica, de sulfuros y compuestos tensoactivos provenientes principalmente de la industria curtiembre [46].

La problemática en mención afecta al cumplimiento de la normativa, al funcionamiento de la planta y al medio ambiente del sector preocupando tanto a la empresa como a los habitantes ya que los restos de sulfuro provocan un olor muy desagradable y la descarga afecta al medio ambiente en general. La PTAR Mollepamba está ubicada en la parroquia Picaihua, Vía El Rosario de Salasaca - Río Pachanlica del cantón Ambato provincia de Tungurahua, coordenadas -1.292536; -78.573973 [46].

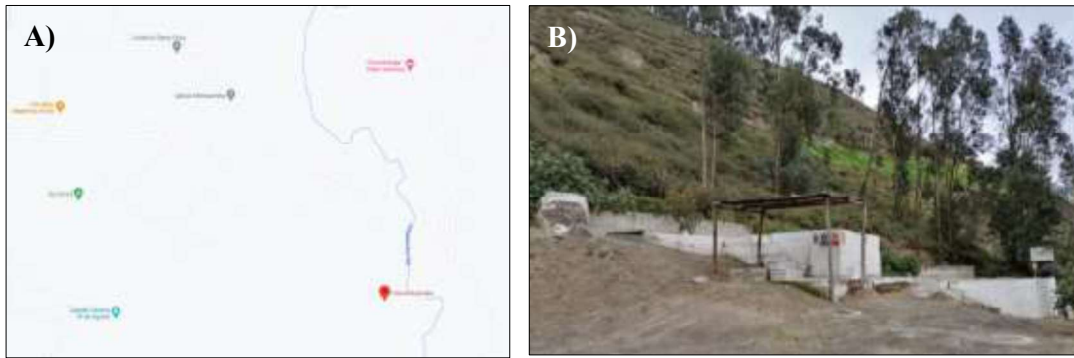


Figura 1. PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A. **A)** Ubicación de la planta de tratamiento. **B)** Espacio físico de la PTAR.

La PTAR Mollepamba presenta cuatro etapas de tratamiento, la primera es un aliviadero donde se receipta el agua residual y pasa al proceso de cribado, que es básicamente una malla metálica que separa los materiales de acuerdo a su tamaño de partícula individual, posteriormente el agua residual se dirige a un desarenador pequeño para que después ingrese a la fosa séptica, en la cual se reduce la carga orgánica disuelta en el agua residual y se realiza un proceso de sedimentación secundario. Finalmente, la última etapa, es un filtro percolador en donde los microorganismos se juntan con el lecho filtrante y forman una capa biológica sobre éste, a medida que se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua residual [49]. El objetivo fue evaluar de forma inicial el estado del agua en cada uno de los proceso que naturalmente mantiene la empresa, por lo tanto, se tomaron muestras de cada una de las etapas a la entrada y salida de cada estación.



Figura 2. Etapa de ingreso del agua residual a la PTAR Mollepamba. **A)** Ingreso del agua residual a la PTAR Mollepamba (Aliviadero). **B)** Paso del agua a través de la rejilla metálica (Cribado). **C)** Flujo de agua luego de la rejilla hacia la fosa séptica para la PTAR Mollepamba.



Figura 3. Etapa de reposo y salida del agua tratada hacia el río Pachanlica. A) Filtro percolar del agua tratada antes de desembocar al río Pachanlica. B) Conectores del paso de agua residual desde la fosa séptica hacia el filtro percolador. C) Salida del agua tratada hacia el río Pachanlica.

3.2. Equipos y materiales

3.2.1. Materiales

Envases de vidrio color ámbar 1000 ml, vasos de precipitación de 1000. 500 y 250 ml (PYREX \pm 0.05 ml), probetas graduadas de vidrio de 1000. 500 y 100 ml (Boro 3.3 \pm 0.01 ml), agitador magnético, balones de aforo de 1000 y 100 ml (\pm 0.01 ml), jeringuillas de 5 ml, termómetro.

3.2.2. Equipos

pHmetro portátil (METTLER TOLEDO), balanza analítica (OHAUS, PA214), plancha de calentamiento con agitador magnético (Super Nouva Multiplace, Thermo Scientific), equipo test Jarra (PHIPPS&BIRD) provisto de 6 unidades de tratamiento simultáneo con un regulador de velocidad para el mezclado y la coagulación (HACH), espectrofotómetro visible DR3900 (HACH), motor Aquarium Power Heads (SOBO), cronómetro, turbidímetro 2100Q (HACH), conductímetro sension7 (HACH).



Figura 4. Equipos empleados durante la experimentación. **A)** Equipo test Jarra (PHIPPS&BIRD) (HACH). **B)** Espectrofotómetro visible DR3900 (HACH). **C)** Pantalla del espectrofotómetro visible DR3900 (HACH). **D)** Turbidímetro 2100Q (HACH). **E)** pHmetro portátil (METTLER TOLEDO). **F)** Conductímetro sensation7 (HACH).

3.2.3. Reactivos

Agua destilada, peróxido de hidrógeno INTEROX 50-10 al 30%, policloruro de aluminio (PAC) al 1%, reactivo de sulfuro 1 catálogo-181632 MDB, reactivo de sulfuro 2 catálogo- 181732 MDB, reactivo para sulfatos A8053 F25 HACH.

3.3. Tipo de investigación

El proyecto de acuerdo al objetivo planteado requiere de una investigación proyectiva, pues se enfoca en la proposición de la mejor alternativa que permita reducir el contenido de sulfuros como parte del tratamiento de aguas residuales procedentes de curtiembres.

Las investigaciones proyectivas implican un factor creativo indispensable para relacionar elementos y articularlos de forma adecuada a la realidad de un problema generando una propuesta producto de la investigación que podría incluso implementarse [60]. Es así que, el método producto de esta investigación debe ajustarse a la realidad de la PTAR Mollepamba perteneciente a la EP-EMAPA-A, ser factible a nivel económico y operacional. Además, la investigación se realiza con miras a proyectar su implementación en otras PTAR con inconvenientes similares bajo este contexto.

El diseño de la investigación es experimental ya que demanda trabajo de campo y pruebas a nivel de laboratorio que permiten evaluar el contenido de sulfuros antes y después de los tratamientos propuestos. La investigación experimental permite la manipulación de una o más variables no comprobadas bajo condiciones controladas con el objetivo, en este caso particular, de identificar la mejor alternativa con base en el rendimiento [59].

3.4. Población

La muestra fue seleccionada tomando como población a la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A pues es la planta con mayores inconvenientes en la disminución del contenido de sulfuro y la que requiere un tratamiento inmediato pues se ve afectado también el funcionamiento de la PTAR.

3.5. Recolección de información

3.5.1. Muestreo

Se toman muestras de acuerdo a la normativa del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) considerando las normas NTE INEN 2 176:1998 Agua. Calidad

del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo [61], la NTE INEN 2 169:98 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras [62] y la NTE INEN 2 226:2000 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo [63].

El procedimiento a seguir abarca un protocolo de muestreo simple que consiste en:

- Preparar los materiales necesarios para el muestreo: frascos ámbar con tapa de 1000 ml, guantes de nitrilo y equipo de seguridad para quien realice el muestreo por la exposición al agua residual.
- Se sugiere que los días en los que se tome la muestra no sean días lluviosos.
- Antes del muestro, se deben identificar sitios específicos para la toma de muestra.
- Evitar la inclusión de objetos flotantes y extraer la muestra por medio de una llave o caída, intentar no sumergir las botellas [64].
- Determinados los sitios, se enjuaga el recipiente a utilizarse (frasco ámbar) con el agua residual tres veces para homogenizar.
- Posteriormente, se ubica la botella bajo el flujo del efluente y se completa el volumen necesario sin dejar rebosar.
- Cada frasco debe estar etiquetado considerando un esquema temporo–espacial (nombre del sitio, fecha, hora, nombre del responsable del muestreo) [65].

Considerando que los sulfuros son compuestos volátiles, los análisis de este parámetro se llevan a cabo durante el día del muestreo.

3.5.2. Análisis fisicoquímicos antes del tratamiento

El análisis de los parámetros a continuación se realiza bajo la certificación ISO 17025, al ser parámetros acreditados, el proceso se lleva a cabo bajo la supervisión del personal calificado para este protocolo en el Laboratorio de Control de Calidad de la EP-EMAPA-A.

Tabla 20. Parámetros aplicados en las muestras de agua residual de la PTAR Mollepamba

Parámetro	Método aplicado
Potencial hidrógeno	17025-PR-CC-23-XX; Método de referencia, Sthandard Methods Ed 22. 4500H ⁺ B.
Turbidez	APHA 2130 B.
DBO5	APHA-5210-B.
DQO	17025-PR-CC-28-XX; Método de Referencia, HACH 8000.
Sólidos disueltos totales	APHA 2540 D.
Conductividad	17025-PR-CC-25-XX; Método de Referencia Standard Methods Ed. 22. 2540 C.
Sulfatos	17025-PR-CC-31-XX; Método de Referencia, HACH 8051.
Sulfuros	17025-PR-CC-24-XX; Método de Referencia, HACH 8131.
Temperatura	17025-PR-CC-38-XX; Método de Referencia Standard Methods Ed. 22. 2550-B.

Fuente: Servicio de Acreditación Ecuatoriano [66].

Se busca evaluar de forma inicial el estado del agua en cada uno de los procesos que naturalmente mantiene la empresa, por lo tanto, se toman muestras de cada una de las etapas y se opera considerando el alividero (A), filtro percolador (B) y desfogue (C).

3.5.3. Tratamientos aplicados para la determinación de sulfuros

Es fundamental mencionar que la concentración de sulfuros debe ser evaluada lo más pronto posible y bajo el método 17025-PR-CC-24-XX Método de Referencia, HACH 8131 antes de iniciar los tratamientos en cada una de las muestras. El detalle del análisis se realiza a continuación:

- Preparar la muestra: en la celda se colocan 10 ml de muestra, 0.5 ml del reactivo de sulfuro 1 catálogo-181632 MDB y 0.5 ml del reactivo de sulfuro 2 catálogo- 181732 MDB.

- Preparar el blanco: en la celda colocan 10 ml de agua destilada, 0.5 ml del reactivo de sulfuro 1 catálogo-181632 MDB y 0.5 ml del reactivo de sulfuro 2 catálogo- 181732 MDB.
- Invertir la celda para mezcla la solución y dejar reposar durante 5 minutos. La solución tendrá un color rosa e irá cambiando a azul si detecta la presencia de sulfuros.
- Cuando el tiempo termine, se limpia el exterior de la cubeta y se coloca la celda del blanco en el equipo.
- Para encerrar el equipo, al colocar el blanco, se presiona el botón ZERO y se verifica una lectura de 0 ug/l S⁻².
- Finalmente, se colocan las cubetas con las muestras y se realiza la medición [67].

- **Aeración**

El sistema de aeración utiliza el oxígeno como agente oxidante y busca incrementar la velocidad de disolución aumentando la superficie de contacto y el tiempo de contacto con las burbujas de aire formadas, mientras más pequeñas sean las burbujas se favorece al proceso pues la superficie de contacto aumenta [50]. Para el proceso experimental:

- Se simula un tanque en el cual se adapta una bomba de aire a través de la cual se inyecta el gas.
- La bomba se coloca en el fondo del tanque para que genere burbujas desde ese punto.
- Se coloca 1 litro de muestra bruta y se mantiene un flujo de alimentación de aire a una velocidad moderada y constante con la finalidad de no generar espuma en forma excesiva.
- Se toman muestras durante el tratamiento con intervalos de 2 horas hasta alcanzar las 4 horas [50].
- En cada muestra se evalúa la cantidad de sulfuros según el método 17025-PR-CC-24-XX Método de Referencia, HACH 8131.
- Se determina, además, pH y temperatura para contrastar los valores iniciales.

- Los datos obtenidos se registran en las tablas cada semana durante un mes.

- **Oxidación avanzada**

El peróxido de hidrógeno, es un oxidante muy energético que no aporta subproductos a la muestra tratada minimizando los residuos. Trabaja a valores de pH entre 7.5-8.5. El oxidante genera un proceso exotérmico y un probable aumento del volumen [54]. Según un estudio realizado en el 2016, los tratamientos deben contar con un tiempo de reposo para que los reactivos puedan actuar [7]. El desarrollo experimental se realiza bajo el siguiente protocolo:

- Se mide la temperatura y se ajusta el pH de la muestra con soluciones buffer, sólo si es necesario.
- Se coloca en cada jarra (3) 1000 ml de la muestra.
- Se dosifica el oxidante, peróxido de hidrógeno, según el tratamiento lo indique. Deben colocarse cantidades crecientes y de forma simultánea en todas las jarras [68].
- Se programa el equipo para una mezcla rápida (1 minuto) con la velocidad estipulada para el tratamiento.
- Una vez transcurrido el tiempo, se disminuye la velocidad a 45 rpm durante 20 minutos y se mantiene en reposo durante 15 minutos más. [58].
- Finalizado el proceso, se evalúa la cantidad de sulfuros según el método 17025-PR-CC-24-XX Método de Referencia, HACH 8131.
- Se determina, además, pH y temperatura para contrastar los valores iniciales.
- Los datos obtenidos se registran en tablas cada semana durante un mes.

- **Coagulación**

El policloruro de aluminio, es un coagulante inorgánico de bajo peso molecular y muy buena solubilidad, trabaja en un amplio rango de pH de 6-9. Es de fácil aplicación, no

modifica el pH y no requiere de dosis altas, sin embargo, en el caso de aguas residuales se recomiendan dosis a partir de 50 mg/L [69]. El desarrollo experimental se realiza bajo el siguiente protocolo:

- Se mide la temperatura y se ajusta el pH de la muestra con soluciones buffer, sólo si es necesario.
- Se coloca en cada jarra (3) 1000 ml de la muestra.
- Se dosifica el coagulante, policloruro de aluminio, según el tratamiento lo indique. Deben colocarse cantidades crecientes y de forma simultánea en todas las jarras [68].
- Se programa el equipo para una mezcla rápida (1 minuto) con la velocidad estipulada para el tratamiento.
- Una vez transcurrido el tiempo, se disminuye la velocidad a 45 rpm durante 20 minutos y se mantiene en reposo durante 15 minutos más. [58].
- Finalizado el proceso, se evalúa la cantidad de sulfuros según el método 17025-PR-CC-24-XX Método de Referencia, HACH 8131.
- Se determina, además, pH y temperatura para contrastar los valores iniciales.
- Los datos obtenidos se registran en tablas cada semana durante un mes.

3.6. Procesamiento y análisis estadístico

El proyecto tiene como objetivo identificar el mejor proceso para la remoción de sulfuros de aguas residuales, razón por la cual, en cada método se aplica el diseño experimental correspondiente para identificar el mejor tratamiento.

Para la aeración, al ser un método manejado a velocidad constante, se evalúa la cantidad de sulfuros bajo el mismo tratamiento considerando tiempos distintos. Por ello, se promedian los valores obtenidos en cada semana, considerándolos como réplicas y se identifica por inspección el mejor tratamiento en la remoción del contaminante. El mejor tratamiento es aquel que refleja el valor más bajo de sulfuros luego de la metodología aplicada.

- Para la aeración:

Factores:	Niveles:	
A: Flujo de aire		
B: Tiempo (horas)	b0: 2	b1: 4

Para los tratamientos de oxidación y coagulación, el diseño experimental que se emplea corresponde a un 3^2 que comprende dos factores (concentración y velocidad) con tres niveles cada uno. El diseño en mención genera 9 combinaciones de tratamientos como se muestran a continuación:

- Para el oxidante:

Factores:	Niveles:		
A: Concentración (mg/L)	a0: 500	a1: 1000	a2: 1500
B: Velocidad (rpm)	b0: 100	b1: 200	b2: 300

Tratamientos:

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1. a0b0 | 4. a0b1 | 7. a0b2 |
| 2. a1b0 | 5. a1b1 | 8. a1b2 |
| 3. a2b0 | 6. a2b1 | 9. a2b2 |

- Para el coagulante:

Factores:	Niveles:		
A: Concentración (mg/L)	a0: 50	a1: 100	a2: 150
B: Velocidad (rpm)	b0: 100	b1: 200	b2: 300

Tratamientos:

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1. a0b0 | 4. a0b1 | 7. a0b2 |
| 2. a1b0 | 5. a1b1 | 8. a1b2 |
| 3. a2b0 | 6. a2b1 | 9. a2b2 |

El análisis estadístico se lleva a cabo considerando las evaluaciones de las semanas como réplicas, en total 4. Se analizan bajo el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + R_k + E_{ijk}$$

Donde:

μ = efecto global

A_i = efecto del i-ésimo nivel del factor A; $i=1. \dots, a$

B_j = efecto del j-ésimo nivel del factor B; $j=1. \dots, a$

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción entre los factores A y B

R_k = efecto de las replicaciones, $k=1. \dots, r$

E_{ijk} = residuo o error experimental

El modelo en mención permite elaborar un análisis de varianza a través del paquete de Microsoft Office 2020 en donde se identifica el efecto de los factores por separado y su interacción sobre la remoción de sulfuros. No obstante, es necesario conocer cuál es el mejor efecto a través de una prueba de Tukey [70].

3.7. Variables respuestas o resultados alcanzados

Las muestras son evaluadas durante un mes considerando como respuesta experimental la cantidad de sulfuros presentes bajo los distintos tratamientos aplicados, con el apoyo de tablas de doble entrada se detallan los mejores resultados de remoción dentro de cada tratamiento.

En cada análisis se controlan parámetros como temperatura, pH y tiempo con la finalidad de establecer puntos críticos en cada uno de los tratamientos [71], además se busca determinar la eficiencia de los proceso comparando valores iniciales de sulfuro antes del tratamiento y posterior a ello. La finalidad general del estudio es identificar puntos críticos, dosis adecuada, el mejor tratamiento y la influencia de otros factores sobre los métodos propuestos con el objetivo de evaluar una posterior aplicación en la

PTAR Mollepamba y considerar su posible implementación en otras plantas con el mismo problema.

La evaluación permite identificar el mejor tratamiento de cada metodología y con base en su costo beneficio se puede determinar la mejor propuesta de implementación y sugerir las condiciones necesarias para que la planta de tratamiento Mollepamba pueda incorporar el proceso y mejorar la calidad del agua que desemboca al río Pachanlica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados y discusión

El sector industrial del trabajo con cuero es conocido por su considerable generación de aguas residuales con alta carga contaminante, metales pesados, sulfuros y materia orgánica que requiere ser tratada antes de desembocar en un río o alcantarillado [13].

La PTAR Mollepamba, recibe el agua residual proveniente de las curtidurías Moyolsa y San Jacinto. El agua residual que trata la planta presenta valores que sobrepasan los límites permisibles de descarga en cuerpos de agua dulce según el TULSMA [5], de ellos los que generan una alarma y exigen un tratamiento adicional son los sulfuros pues como se muestra en la tabla 10 alcanzan un valor promedio diario de 2.72 mg/L y su límite máximo permisible es 0.5 mg/L. Los valores indican que existen aproximadamente 2.22 mg/L en exceso que posterior al tratamiento primario que se aplica no logra disminuirse o ajustarse a los requerimientos de la normativa generando un olor muy desagradable y por ende peligros a la salud de la población.

La PTAR recibe a diario y en su mayoría agua proveniente de las curtiembres del sector. Al ser parte del proceso de curtido del cuero, el agua residual se carga de distintos contaminantes entres los que desatacan los sulfuros. En la etapa del pelambre, se elimina epidermis, pelo y sus raíces con la finalidad de limpiar y dejar listo el material para el siguiente proceso. Para retirar lo mencionado se emplean sulfuro de sodio (Na_2S), hidróxido cálcico ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), cal y enzimas [58].

La planta de tratamiento Mollepamba recibe un flujo de 1.82 L/s a pesar de que está diseñada para tratar un caudal de 1 L/s, este exceso limita su efectividad y se logra un porcentaje de remoción de DBO5 (43%) y de DQO (20%), sin embargo no es el esperado pues la PTAR recibe alta carga orgánica [46]. Como parte del control de la EP-EMAPA-A periódicamente se realizan análisis de monitoreo y semestralmente se completan parámetros de control exigidos por el TULSMA a cada una de las PTAR, ello permite tomar decisiones respecto a medidas que deben tomarse para lograr cumplir con la normativa y descargar el agua al río Pachanlica.

Como se muestra en la tabla 21, el paso del agua residual por la PTAR logra reducir la carga inicial orgánica, DBO5, DQO y sólidos suspendidos, sin embargo, no es suficiente para cumplir con la normativa. A diferencia de los sulfuros, que, en lugar de disminuir y ajustarse a los límites permisibles, incrementan sustancialmente su valor a pesar del tratamiento actual.

Tabla 21. Datos de caracterización del agua residual a la salida de la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A según los parámetros fisicoquímicos descritos en el TULSMA Libro VI. Anexo I. Tabla 9.

Parámetros	Unidad	Límite permisible	Valores de entrada	Valores de salida
Aceites y grasas	mg/L	30.0	9.0	11.0
Aluminio	mg/L	5.0	0.007	0
Bario	mg/L	2.0	0.427	0.4
Boro Total	mg/L	2.0	0	0
Cinc	mg/L	5.0	0.12	0.2
Cloruros	mg/L	1000.0	1770.2	843.7
Cobalto	mg/L	0.5	0.013	0.017
Cobre	mg/L	1.0	0.08	0.11
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2000.0	>4839200	>3200000
Fluoruros	mg/L	5.0	2.83	1.64
Cromo Hexavalente	mg/L	0.5	0.017	0.054
DBO (5 días)	mg/L	100.0	430	157
DQO	mg/L	200.0	974	311
Hierro Total	mg/L	10.0	0.04	0
Manganeso Total	mg/L	2.0	0.108	0.116
Níquel	mg/L	2.0	0.038	0.043
Nitrógeno Total	mg/L	50.0	55.6	97.5
Plomo	mg/L	0.2	0.086	0.076

Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130.0	482	351
Sulfatos	mg/L	1000.0	354	342
Sulfuros	mg/L	0.5	0.022	6.205

*Se marcan de color los parámetros que a pesar del tratamiento en la PTAR Mollepamba no logran ajustarse a la normativa vigente TULSMA.

Fuente: Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura de EP-EMAPA-A [46].
Tabla 9. Límites de Descarga a un cuerpo de Agua Dulce [11].

El recibir a diario mayor caudal del esperado genera que el proceso baje su efectividad, la PTAR al momento cuenta con un tratamiento básico y primario que busca la reducción de sólidos en suspensión. La disminución se logra a través del cribado que con el apoyo de una malla metálica separa materiales de mayor tamaño; luego pasa por el desarenador y se dirige a la fosa séptica con la finalidad de reducir la carga orgánica disuelta. En la fosa séptica de la PTAR tienen lugar la sedimentación de sólidos de alta densidad que se acumulan como lodos y la retención de materia flotante, de menor densidad que el agua, como grasas y aceites que se acumulan en forma de espuma [72]. Con base en lo mencionado, se identifica a través de los análisis que el tratamiento primario cumple su función, sin embargo, no es suficiente pues aún no logra ajustarse a la normativa. Aunque hay una disminución de la materia orgánica y sólidos suspendidos, el proceso primario que involucra la filtración y sedimentación no es suficiente y eso se evidencia en el incremento de sulfuros a la salida del proceso [7]. La acumulación de lodos y materia orgánica retenida en los distintos puntos está generando una contaminación química alemana y dificultando la efectividad del proceso por ello se recomienda una purga y limpieza constante de modo que se evite la acumulación de residuos orgánicos y que la materia retenida se convierta en una causa de contaminación.

Para identificar la etapa dentro del proceso que está generando esta contaminación alemana y provocando un incremento desmedido de sulfuros se evalúan parámetros relevantes en tres puntos: el aliviadero (A) que involucra el agua residual tras atravesar la malla metálica, el filtro percolador (B) que es el tanque de reposo del agua una vez atraviesa la fosa séptica y el desfogue (C) que se halla a la salida del filtro percolador y direcciona el agua al río Pachanlica. Los datos hallados se detallan en la tabla 22. que compara los tres escenarios y permite discernir que en el transcurso del punto A al C se

tiene una disminución de pH, turbiedad, DBO5, DQO y sulfatos con lo que se demuestra que el proceso de cribado, el paso por la fosa séptica y el reposo en el filtro percolador están aportando a la disminución de materia orgánica y sólidos de mayor tamaño. Sin embargo, parámetros como los sólidos disueltos y sulfuros tienen un incremento. La relación del agua residual que ingresa a la PTAR y tras recorrer el proceso sale a través del desfogue muestra que si bien es cierto hay una reducción en algunos parámetros también hay un incremento injustificado en otros. La comparación de datos permite identificar que el punto crítico se encuentra en la fosa séptica ya que en el caso puntual de los sulfuros tiene un incremento mayor al 100% y a pesar de que el filtro percolador logra disminuir cierta cantidad sigue siendo muy superior a lo que exige la normativa. De hecho, en la figura 5 se muestra el resultado observable tras colocar el reactivo para la medición de sulfuros, como era de esperarse el equipo no reconoció de forma inicial el contenido del contaminante pues era muy superior y se realizó una dilución para poder ejecutar la medición.

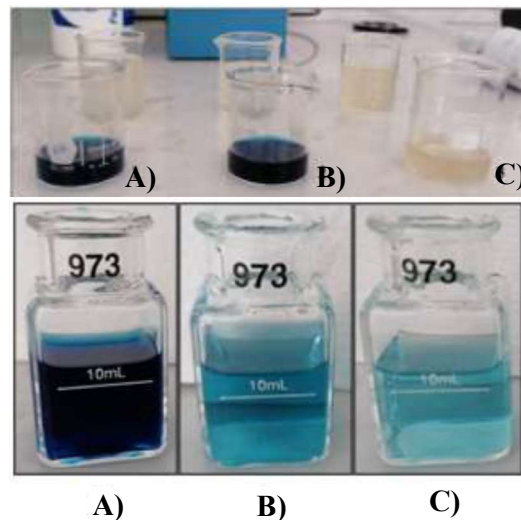


Figura 5. Reacción tras la aplicación del reactivos de detección de sulfuros en distintos puntos de la PTAR. **A)** Muestra del desfogue. **B)** Muestra de la fosa séptica. **C)** Muestra del ingreso del agua a la PTAR tras pasar la malla metálica.

Evaluando los puntos, se confirma la hipótesis de que la acumulación de residuos en la fosa séptica está generando contaminación cruzada, de hecho, un estudio realizado en el 2015 confirma que existe un relación inversa entre el tiempo de retención de lodos y la disminución de sólidos disueltos ya que mientras más tiempo pasen retenidos los lodos

que sedimentan con agentes contaminantes y microorganismos menos efectivo resultará el proceso de disminución de sólidos disueltos y sulfuros [73].

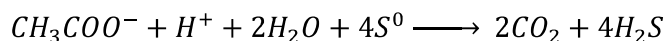
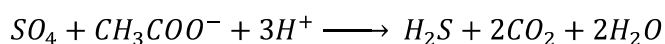
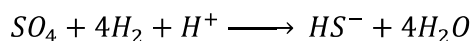
Tabla 22. Registro de resultados del estado inicial del agua residual de la PTAR Mollepamba de la EP-EMAPA-A en distintos puntos

Proceso	Estación		
	A	B	C
Ph	7.85	7.46	7.56
Turbiedad (NTU)	158	73.9	85.2
DBO5 (mg/L)	430	118	178
DQO (mg/L)	974	258	341
Sólidos totales disueltos (mg/L)	743	1006	1007
Conductividad (mS/cm)	1.48	2.01	2.01
Sulfuros (mg/L)	0.377	6.762	4.251
Sulfatos (mg/L)	0.07	0.067	0.069
Temperatura (°C)	19.0	18.8	18.8

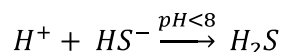
Elaborado por: La investigadora.

Bajo la problemática descrita a más de las sugerencias mencionadas es necesario implementar un proceso que permita disminuir la cantidad de sulfuros y ajustarlos a la norma.

Los iones sulfuro, son la forma reducida del azufre. Se encuentran en aguas residuales generados bajo distintos escenarios, pueden producirse a raíz de una combinación del azufre con un elemento químico o un radical [7], a partir de la degradación de las proteínas o por la descomposición de la materia orgánica bajo la reducción bacteriana del sulfato en condiciones anaerobias como se detalla en las siguientes ecuaciones [74].



Los sulfuros se encuentran disueltos en el agua bajo distintas formas H_2S , HS^- o como S dependiendo del pH, cuando este parámetro alcanza valores menores a ocho se produce un ambiente ácido y propicia la formación de sulfuro de hidrógeno como muestra la ecuación a continuación. Cabe señalar que mientras menor sea la cantidad de sulfuro mayor será la de ácido [50].

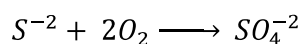


El sulfuro de hidrógeno es un gas altamente tóxico caracterizado por presentar un olor fuerte a huevo podrido [7], es inflamable, afecta al sistema nervioso e inhibe la acción de la enzima oxidasa dificultando el proceso de crecimiento de las plantas [8].

Por sus condiciones el ion sulfuro puede ser oxidado fácilmente a través de la acción de agentes químicos. Dentro de las técnicas más empleadas destacan la aeración, coagulación/floculación y oxidación química que bajo el contexto y a la ubicación de la PTAR Mollepamba se consideran como las opciones más factibles a nivel económico y operacional. A continuación, se detallan las tres técnicas aplicadas y los resultados frente a su accionar.

4.1.1. Aeración

La primera es la aeración, esta técnica busca eliminar los sulfuros a través de su transformación generando menor riesgo medio ambiental y a su vez menor toxicidad. Este tipo de oxidación emplea como agente oxidante al oxígeno y se traduce bajo la siguiente reacción obteniendo como resultado iones sulfato.



Los sistemas de aeración buscan incrementar la velocidad de disolución del oxígeno a través del aumento de la superficie de contacto con las burbujas generadas por la bomba, destacando que mientras más pequeñas sean las burbujas de aire mayor será la superficie que se abarque. Por naturaleza este gas resulta poco soluble en agua por ello es pertinente implementar esta técnica [75].

Para simular el sistema de aeración, se tomaron muestras del agua de la PTAR luego de su paso por la malla metálica. Se colocó en la muestra la bomba de aeración durante 4 horas de forma ininterrumpida provocando la generación de burbujas pequeñas como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Simulación del sistema de aeración

A continuación, se visualiza una comparación de los datos individuales obtenidos a lo largo de 4 semanas considerando un intervalo de 2 horas para la evaluación de sulfuros (Figura 7). El tratamiento a0b0 muestra los datos recopilados a las 2 horas de la aplicación mientras que el tratamiento a0b1 muestra los datos a las 4 horas. Los datos recopilados para la generación de la gráfica están ubicados en tabla 1 del anexo 5.4.1.

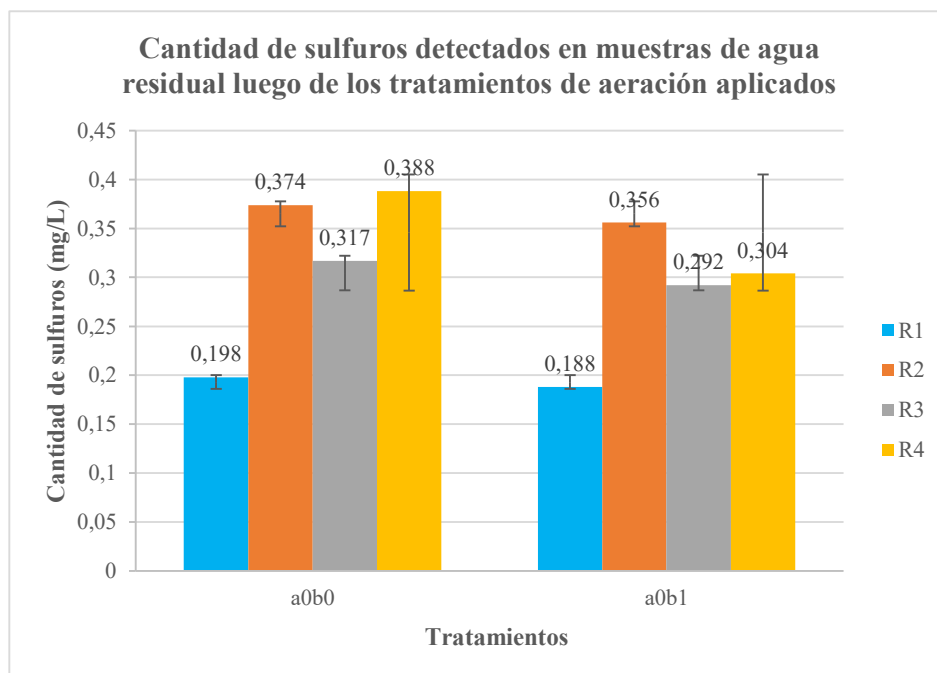


Figura 7. Resultados de la cantidad de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de aeración aplicados por semana. *Tratamientos:* **a0b0:** flujo de aire constante-2 horas. **a0b1:** flujo de aire constante-4 horas. **R:** número de réplica.

Además, la ejecución del tratamiento muestra una diferencia en la temperatura y el pH. Se puede identificar de acuerdo a los valores obtenidos de forma independiente que la temperatura de la muestra aumenta al igual que el pH a medida que transcurre el tiempo como se observa en la figura 8.

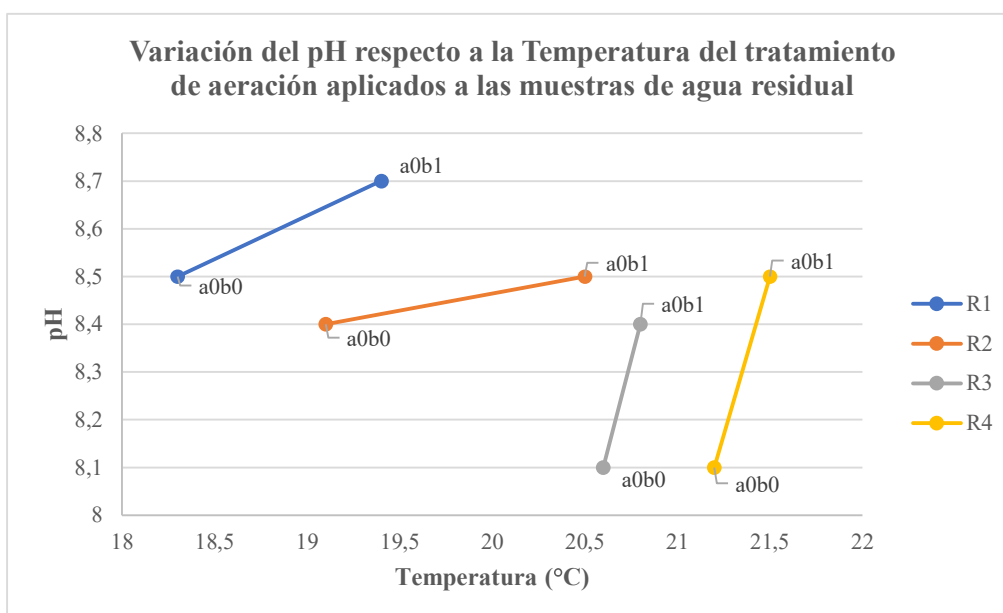


Figura 8. Resultados de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de aeración aplicados a las muestras de agua residual por semana. *Tratamientos: a0b0:* flujo de aire constante-2 horas. *a0b1:* flujo de aire constante-4 horas. *R:* número de réplica.

En las muestras tratadas luego de las 4 semanas de aplicarse la metodología se detalla la cantidad promedio inicial de sulfuros que corresponde a 0.335 mg/L. El tratamiento propuesto logra una reducción aproximada del 12% a las 2 horas y del 17% a las 4 horas. Estos valores se respaldan con los resultados de la tabla 23 y se visualizan en la figura 9.

Tabla 23. Promedio de los resultados de los tratamientos considerando el tiempo de bombeo de aire para la remoción de sulfuros por semana

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Promedio S ²⁻	% de remoción S ²⁻
a0b0 (flujo de aire constante-2 horas)	0.198	0.374	0.317	0.388	0.2963	11.6
a0b1 (flujo de aire constante-4 horas)	0.188	0.356	0.292	0.304	0.2787	16.9

Elaborado por: La investigadora.

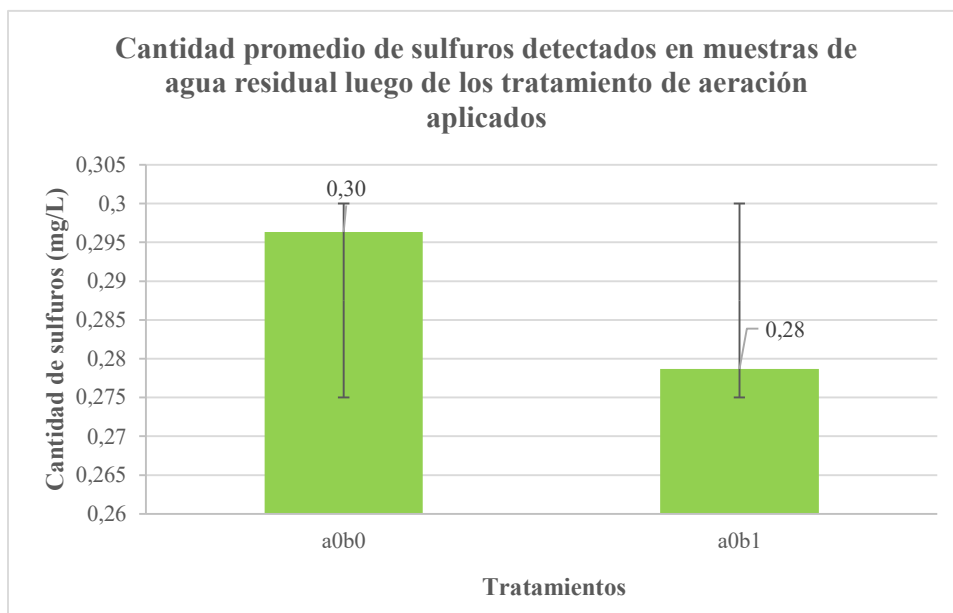


Figura 9. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de aeración aplicados por semana. *Tratamientos:* **a0b0**: flujo de aire constante-2 horas. **a0b1**: flujo de aire constante-4 horas.

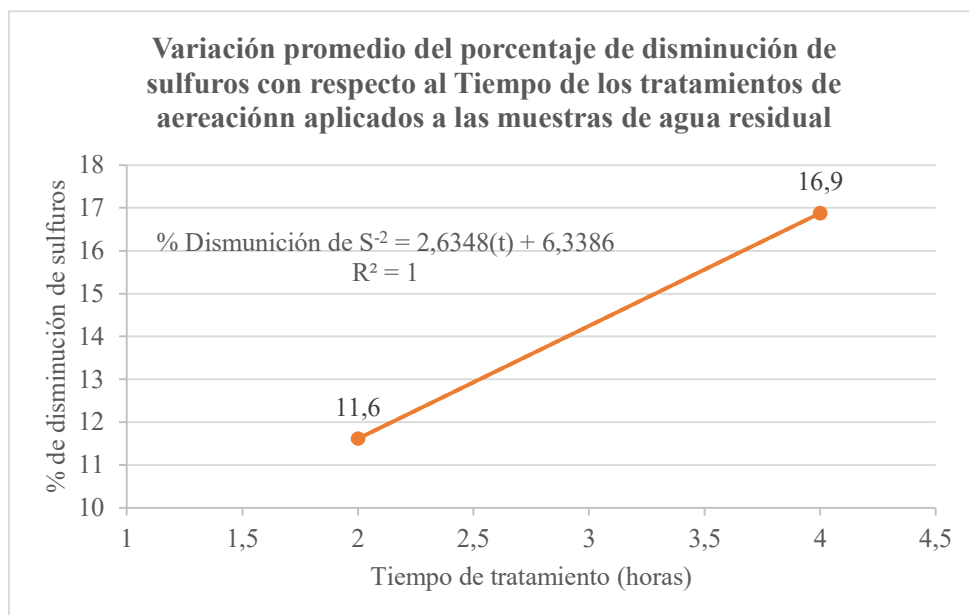


Figura 10. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de aeración aplicados por semana.

La comparación de los valores iniciales de sulfuros frente a los resultados luego de aplicarse el tratamiento muestra una disminución ligera, sin embargo, indica mayor efectividad mientras mayor sea el tiempo de exposición de la muestra a las burbujas generadas por la bomba. Cabe resaltar que la PTAR Mollepamba cuenta con un tiempo aproximado de retención del líquido de 6 horas, con base en la tendencia de disminución luego de cada 2 horas de aplicado el tratamiento se logra una disminución aproximada del 5.3%. Como se muestra en la figura 10, se establece una ecuación predictiva que al aplicarse en función del tiempo de retención del líquido en la planta reflejara una disminución de sulfuros del 22%. Con los datos se puede proyectar una efectividad operacional del 22%, este valor se considera relativamente bajo pues no se logra el objetivo propuesto que es ajustar la concentración de sulfuros a la normativa. A pesar de obtener un resultado positivo no es lo suficiente eficaz para el propósito.

Un estudio realizado en el 2005, sugiere que el empleo de un catalizador como sulfato de magnesio ($MnSO_4$) puede favorecer el proceso y llevarlo a efectividades sobre el 90%, sin embargo, dependerá del estado inicial del agua residual [50].

El agua residual que llega a la PTAR Mollepamba presenta una concentración elevada de sulfuros y como se menciona en la tabla 22 el resultado de la presencia del contaminante al pasar por la planta supera el valor inicial. Con el tratamiento se logra una disminución sin embargo por la información recabada se puede concluir que el tratamiento no debería aplicarse por sí sólo, es decir podría combinarse con elementos como catalizadores y probar su dosificación.

En la aplicación del tratamiento se evaluaron parámetros adicionales como temperatura y pH con la finalidad de identificar puntos críticos y establecer una relación. El valor inicial promedio de la temperatura de las muestras corresponde a $18.1^{\circ}C$ y el valor de pH a 7.8; como se muestra en la tabla 24 las réplicas reflejan una tendencia de incremento con respecto al tiempo. La temperatura en el tratamiento de oxidación, a0b0 (flujo de aire constante-2 horas) aumenta un 9.4% y el pH un 6%, respecto al tratamiento a0b1 (flujo de aire constante-4 horas) la temperatura crece en razón de un 13.5% y el pH en un 9.2%.

Tabla 24. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento de bombeo de aire por cada semana

Réplicas	a0b0		a0b1	
	T	pH	T	pH
R1	18.3	8.5	19.4	8.7
R2	19.1	8.4	20.5	8.5
R3	20.6	8.1	20.8	8.4
R4	21.2	8.1	21.5	8.5
Promedio	19.8	8.275	20.55	8.525
% Incremento	9.4	6.0	13.5	9.2

Elaborado por: La investigadora.

El aumento de temperatura se justifica por el movimiento que genera el motor dentro del agua haciendo que las burbujas se distribuyan por toda la superficie de contacto generando cinética en toda la muestra y con ello espuma. Mientras más tiempo se aplique el tratamiento mayor será el incremento de temperatura por el movimiento molecular originado. El pH ácido propicia la generación de sulfuro de hidrógeno que es el causante del olor tóxico, el tratamiento aplicado oxida el sulfuro para convertirlo en sulfato provocando un incremento del pH que demuestra que el objetivo se está alcanzando [50]. Al relacionar las variables en mención se puede identificar que entre ellas existe una relación directamente proporcional pues como muestra la figura 11 mientras la temperatura aumenta el pH también lo hace.

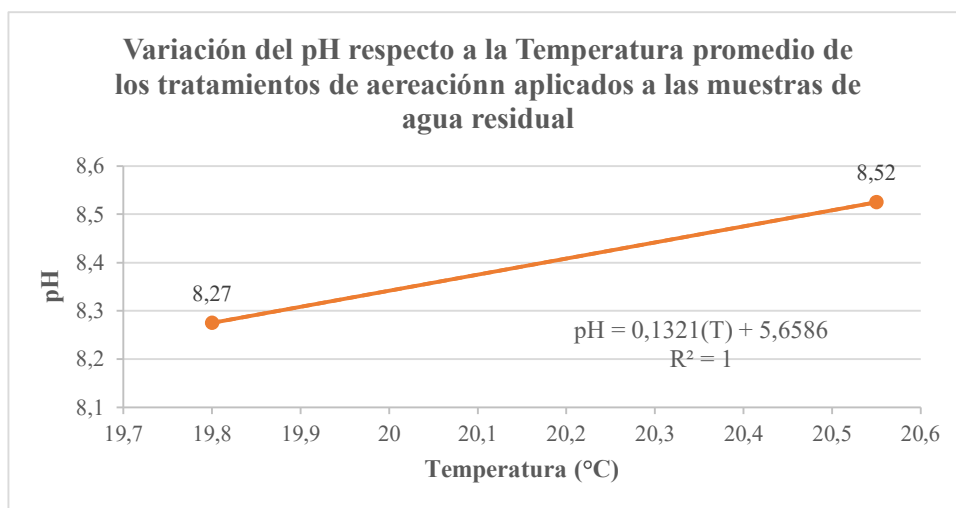
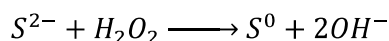
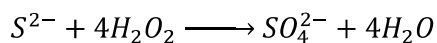


Figura 11. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de aeración aplicados a las muestras de agua residual por semana

Se puede concluir que, en el caso de la aeración, el tratamiento que brinda un mejor resultado es el a0b1 (flujo de aire constante-4 horas) pues logra una remoción de sulfuros de aproximadamente 17%. Mientras mayor sea el tiempo de retención mayor será la remoción sin embargo el costo energético sube, cabe mencionar que la retención no puede ser mayor a 6 horas y el tratamiento como máximo alcanzaría un 22% de efectividad.

4.1.2. Oxidación química

La segunda metodología evaluada es la oxidación química con el empleo de un agente oxidante, se busca que los sulfuros se transformen a sulfatos y azufre según corresponda como muestran las ecuaciones a continuación [76].



Para esta experimentación se empleó peróxido de hidrógeno considerando que es un agente bastante energético, no aporta subproductos a la muestra tratada ya que al descomponerse no genera contaminación, tiene una capacidad oxidativa alta y puede actuar sin inconvenientes en medios alcalinos de pH 7.5 a 8.5 [54].

Las ventajas sustanciales que presenta el método hacen referencia al cuidado medio ambiental ya que los subproductos no generan contaminación y además la adición de oxígeno disuelto impide la regeneración del sulfuro de hidrógeno que como ya se mencionó causa el mal olor [53].

Con el objetivo de identificar la dosificación y condiciones adecuadas para el tratamiento se aplicó una prueba de jarras tomando muestras del agua de la PTAR tras pasar la malla metálica. Se colocaron en las jarras distintas dosis del oxidante (figura 12) y se probaron diferentes velocidades de mezclado durante 4 semanas considerando cada experimentación como replica.



Figura 12. Prueba de jarras (HACH) con la aplicación del oxidante a diferentes concentraciones

Al iniciar y finalizar cada uno de los tratamientos se evaluó la cantidad de sulfuros (figura 13) respaldando todos los datos con la información de la tabla 3 del anexo 5.4.1. Los tratamientos aplicados consideraron la relación de dos factores: concentración (a0) y velocidad de mezclado (b0). La concentración del oxidante se trabajó a 500, 1000 y 1500 mg/L mientras que la velocidad fue de 100, 200 y 300 rpm, las condiciones planteadas responden a una investigación realizada en el 2019 en donde se alcanzan porcentajes de remoción superiores al 70% tomando en cuenta que el reactivo está al 30% y el tratamiento mantuvo un tiempo de reposo de 40 a 50 minutos [56].



Figura 13. Reacción tras la aplicación del reactivo para identificar sulfuros en las pruebas con oxidante a diferentes concentraciones

Es complejo que las aguas residuales mantengan condiciones iguales, los datos teóricos presentados en dicha investigación pudieron usarse puesto que la cantidad inicial de sulfuros que presenta la PTAR a su ingreso es menor a la mencionada en el artículo. Al mantener similitud en las condiciones de trabajo se estimó un valor de remoción muy

parecido al indicado, bajo este escenario la combinación de los factores concentración y velocidad de mezclado generó 9 tratamientos con cuatro réplicas cada uno a lo largo de un mes. Durante la aplicación de la metodología, las muestras se fueron comparando por grupos en donde se mantiene la velocidad de mezclado y se va variando la concentración del oxidante. Además, se evaluó la temperatura y el pH antes y después de cada ejecución. A continuación, se puede observar la figura 14 que identifican de forma individual los valores obtenidos en cuanto a la disminución del contaminante y la figura 15 que resume en promedio la variación de la temperatura y el pH.

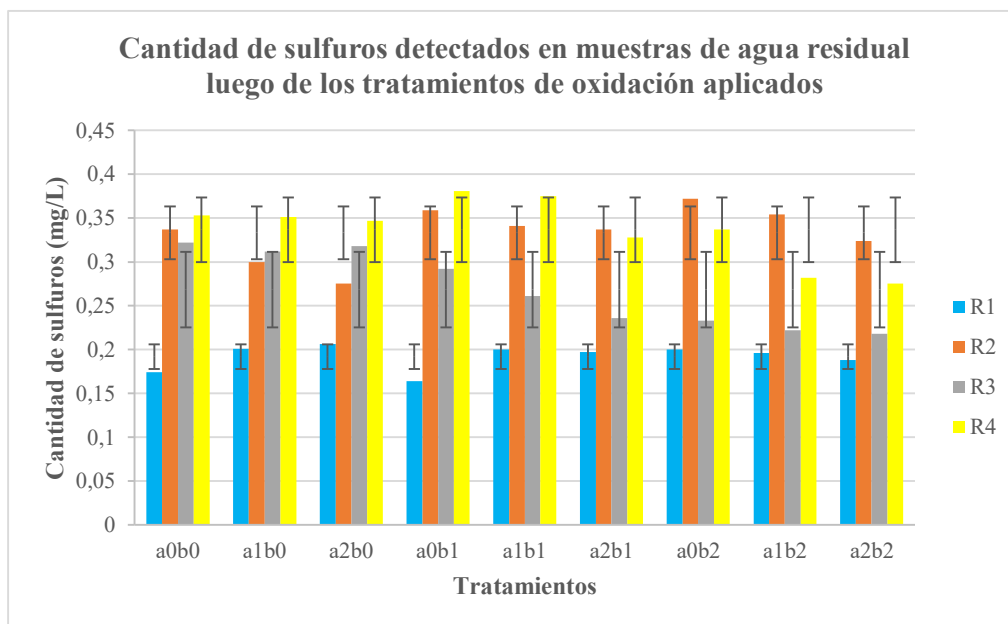


Figura 14. Resultados resumen de la cantidad de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de oxidación aplicados por semana. *Tratamientos:* **a0b0:** 500 mg/L-100rpm. **a0b1:** 500 mg/L-200rpm. **a0b2:** 500 mg/L-300rpm. **a1b0:** 1000 mg/L-100rpm. **a1b1:** 1000 mg/L-200rpm. **a1b2:** 1000 mg/L-300rpm. **a2b0:** 1500 mg/L-100rpm. **a2b1:** 1500 mg/L-200rpm. **a2b2:** 1500 mg/L-300rpm. **R:** número de réplica.

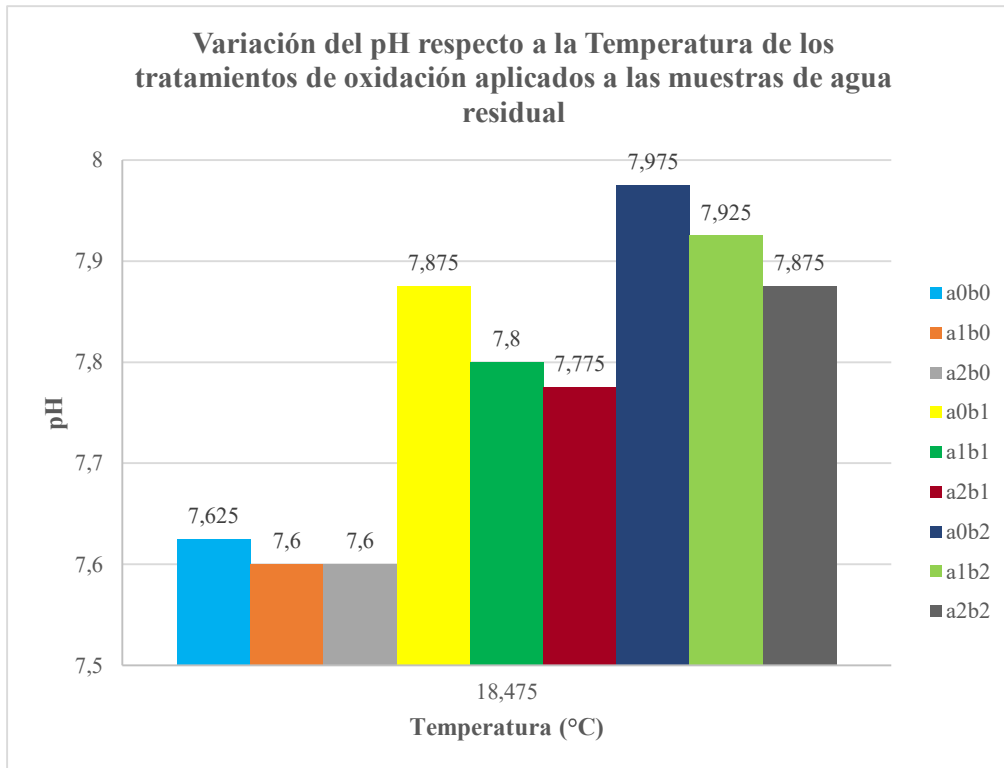


Figura 15. Resultados resumen promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual por semana. *Tratamientos:* **a0b0:** 500 mg/L-100rpm. **a0b1:** 500 mg/L-200rpm. **a0b2:** 500 mg/L-300rpm. **a1b0:** 1000 mg/L-100rpm. **a1b1:** 1000 mg/L-200rpm. **a1b2:** 1000 mg/L-300rpm. **a2b0:** 1500 mg/L-100rpm. **a2b1:** 1500 mg/L-200rpm. **a2b2:** 1500 mg/L-300rpm.

En las muestras tratadas luego de las 4 semanas de aplicarse la metodología se identifica que la cantidad promedio inicial de sulfuros corresponde a 0.378 mg/L. Los tratamientos propuestos logran una reducción aproximada del 25% de forma general. Sin embargo, se puede destacar que de forma individual el tratamiento que logra una mejor remoción es el a2b2 (1500 mg/L-300rpm) que implica la mayor concentración del oxidante y la mayor velocidad de mezclado. El tratamiento que presenta la menor disminución es el a0b1 (500 mg/L-200rpm) que emplea la menor concentración del oxidante y una velocidad de mezclado media. Los datos se respaldan bajo la información colocada en el tabla 25 y se ejemplifican gráficamente en la figura 16.

Tabla 25. Promedio de los resultados de los tratamientos variando la concentración del oxidante y la velocidad de mezclado de la prueba de jarras por semanas

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Promedio S ²⁻	% de remoción S ²⁻
a0b0 (500 mg/L-100rpm)	0.174	0.337	0.322	0.353	0.2965	21.56
a1b0 (1000 mg/L-200rpm)	0.201	0.3	0.312	0.351	0.291	23.02
a2b0 (1500 mg/L-300rpm)	0.206	0.275	0.318	0.347	0.2865	24.21
a0b1 (500 mg/L-100rpm)	0.164	0.359	0.292	0.381	0.299	20.90
a1b1 (1000 mg/L-200rpm)	0.2	0.341	0.261	0.375	0.29425	22.16
a2b1 (1500 mg/L-300rpm)	0.197	0.337	0.236	0.328	0.2745	27.38
a0b2 (500 mg/L-100rpm)	0.2	0.372	0.233	0.337	0.2855	24.47
a1b2 (1000 mg/L-200rpm)	0.196	0.354	0.222	0.282	0.2635	30.29
a2b2 (1500 mg/L-300rpm)	0.188	0.324	0.218	0.275	0.25125	33.53

Elaborado por: La investigadora.

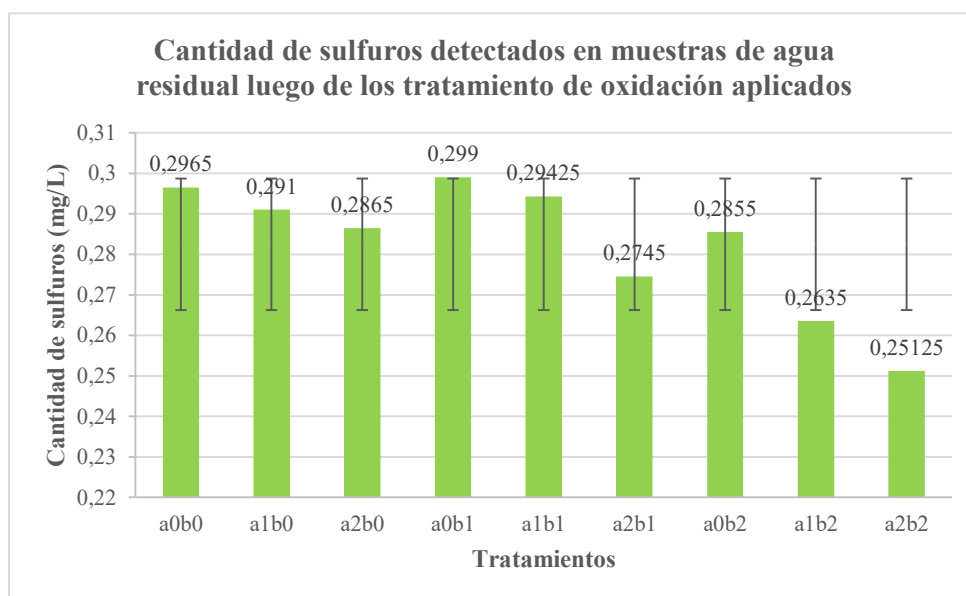


Figura 16. Resultados resumen de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de oxidación aplicados por semana. *Tratamientos:* **a0b0:** 500 mg/L-100rpm. **a0b1:** 500 mg/L-200rpm. **a0b2:** 500 mg/L-300rpm. **a1b0:** 1000 mg/L-100rpm. **a1b1:** 1000 mg/L-200rpm. **a1b2:** 1000 mg/L-300rpm. **a2b0:** 1500 mg/L-100rpm. **a2b1:** 1500 mg/L-200rpm. **a2b2:** 1500 mg/L-300rpm.

La comparación de los valores iniciales de sulfuros frente a los resultados luego de aplicarse el tratamiento muestra una disminución. Al analizar los promedios agrupando

los tratamientos por su condición se puede identificar que al mantener la velocidad baja (100 rpm) existe una disminución promedio del 23%, al mantener una velocidad media (200 rpm) se alcanza una remoción del 23.5% y al considerar la máxima velocidad se refleja una remoción del 29%, con ello se puede concluir que mientras mayor sea la velocidad de mezclado se logra una mejor remoción del contaminante. Al agrupar los resultados con base en la concentración del oxidante, se identifica que la menor concentración (500 mg/L) logra una remoción promedio del 22%, la concentración media (1000 mg/L) logra el 25% y la concentración alta (1500 mg/L) el 28%. Estos datos ratifican el mejor tratamiento, señalando el efecto que tiene la mayor concentración y la mayor velocidad de mezclado (Figura 17).

Una investigación realizada en el 2016 explica lo mencionado considerando que la mayor concentración de peróxido de hidrógeno favorece la velocidad de oxidación por la producción de radicales OH, sin embargo, puede verse afectada por la posible descomposición del peróxido y recombinación con el OH [77]. Cuando existe mayor mezclado, incrementa la velocidad con la que se mueven las partículas y por lo tanto el contacto y las colisiones entre ellas resultan más rápidas favoreciendo la reacción [78].

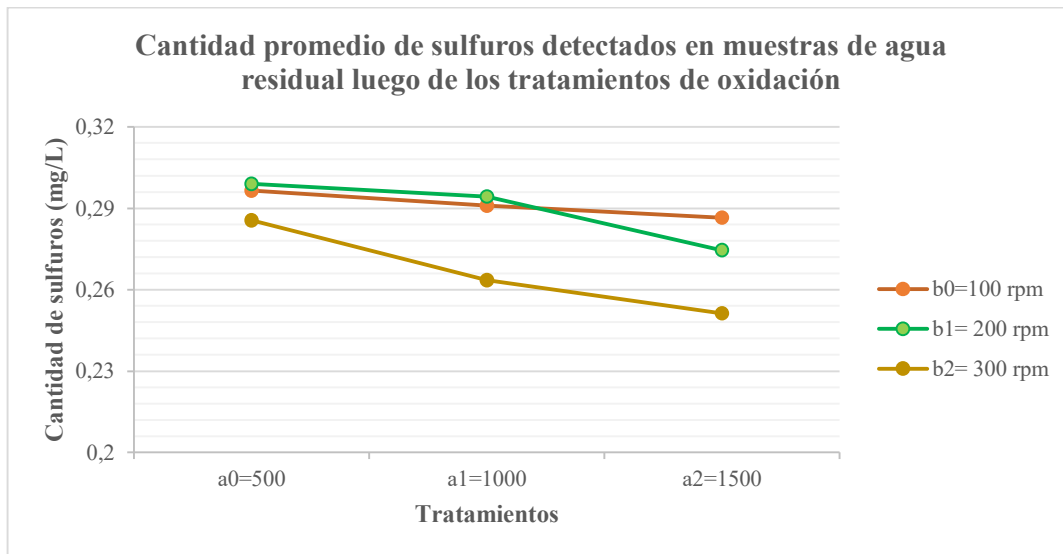


Figura 17. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de oxidación. *Tratamientos*: **a0b0**: 500 mg/L-100rpm. **a0b1**: 500 mg/L-200rpm. **a0b2**: 500 mg/L-300rpm. **a1b0**: 1000 mg/L-100rpm. **a1b1**: 1000 mg/L-200rpm. **a1b2**: 1000 mg/L-300rpm. **a2b0**: 1500 mg/L-100rpm. **a2b1**: 1500 mg/L-200rpm. **a2b2**: 1500 mg/L-300rpm. **R**: número de réplica.

Con la finalidad de estadísticamente comprobar si existen diferencias significativas en la remoción de sulfuros entre los factores y sus combinaciones se aplicó un análisis de varianza para los tratamientos evaluados y sus réplicas. Con un intervalo de confianza del 95% se establecieron las siguientes hipótesis:

H0: No existe diferencia significativa entre en la disminución de sulfuros con los distintos tratamientos.

H1: Existe diferencia significativa entre en la disminución de sulfuros con los distintos tratamientos.

El análisis de datos obtenido a partir de la fase experimental y con el apoyo del paquete estadístico de Microsoft Office 2020 permite visualizar los resultados resumen descritos en la tabla 5 del Anexo 5.4.1. Al realizar el análisis estadístico de varianza se puede concluir respecto a los resultados de la tabla 26 que no existe diferencia significativa entre las concentraciones, velocidades, réplicas y sus interacciones aceptando la hipótesis nula a un 95% de confianza. Al no existir diferencia significativa no se requiere la aplicación de pruebas adicional para identificar el mejor tratamiento, sin embargo, con base en los promedios de remoción de sulfuros se puede mencionar que la mejor combinación es el tratamiento a2b2 (1500 mg/L-300rpm) a pesar de que su resultado no difiera de los demás significativamente.

Tabla 26. Análisis de varianza respecto a la concentración y velocidad de mezclado para el tratamiento de oxidación

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentraciones	0.00315506	2	0.00157753	0.28114264	0.757103581	3.35413083
Velocidades	0.00445972	2	0.00222986	0.39739968	0.675931959	3.35413083
Interacción	0.00080561	4	0.0002014	0.03589345	0.997379645	2.72776531
Réplicas	0.1515005	27	0.00561113			
Total	0.15992089	35				

Elaborado por: La investigadora.

Con los resultados obtenidos se puede identificar que el mejor tratamiento logra una remoción de sulfuros de aproximadamente 33%, este valor a pesar de ser mayor frente al tratamiento experimental de aeración resulta lejos del valor propuesto de forma

teórica lo que se puede explicar de antemano por la constitución del agua residual y el estado de la PTAR. La investigación realizada en el 2013 indica que, este proceso es considerado un tratamiento terciario que requiere que los tratamientos anteriores, primario y secundario se hayan realizado con efectividad pues lo que busca es completarlos y lograr un mejor resultado [31]. Además, al no tener un proceso eficiente, el rendimiento se ve afectado por las reacciones paralelas que pueden establecerse entre el peróxido y la materia con carga oxidable presente en el residuo y las instalaciones de la PTAR [54]. Es así que, de implementarse el tratamiento debería ser aplicado una vez transcurridas las etapas de procesos físicos y microbiológicos.

Durante el desarrollo del tratamiento propuesto se evaluaron parámetros como temperatura y pH para identificar puntos a considerarse y establecer una relación. El valor inicial promedio de temperatura de las muestras corresponde a 18.1°C y el valor de pH a 7.5; como se muestra en la tabla 4 del anexo 5.4.1. Los tratamientos fueron analizados por grupos considerando como constante la velocidad de mezclado, tal es así que en la tabla 27 se puede identificar una tendencia de incremento en ambos factores en relación del 1 y 2%, sin embargo, no se presenta una diferencia significativa en ninguno de los escenarios. En los datos recopilados en la experimentación se puede establecer una relación entre la temperatura y el pH identificada con la ecuación dispuesta en la figura 18. El modelo presenta un coeficiente de determinación de 0.75 lo que refleja que predictivo y requiere un mayor ajuste para ser usado con confiabilidad, ello implica un incremento en el número de réplicas y experimentaciones para lograr ajustar el modelo lo más cercano a 1. Por otro lado, permite identificar que entre los parámetros existe una relación directa al mantener una velocidad constante ya que mientras incrementa la temperatura lo hará el pH.

Tabla 27. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el oxidante a 100 rpm de velocidad por cada semana

Réplicas	a0b0		a1b0		a2b0	
	T	pH	T	pH	T	pH
R1	19.4	7.6	19.3	7.7	19.1	7.7
R2	18.1	7.6	18	7.5	18.1	7.3
R3	17.3	7.7	17.4	7.7	17.5	7.7
R4	19.1	7.6	19.1	7.5	19.1	7.6
Promedio	18.475	7.625	18.45	7.6	18.525	7.6
% Incremento	2.072	1.329	1.934	0.997	2.348	0.997

Elaborado por: La investigadora.

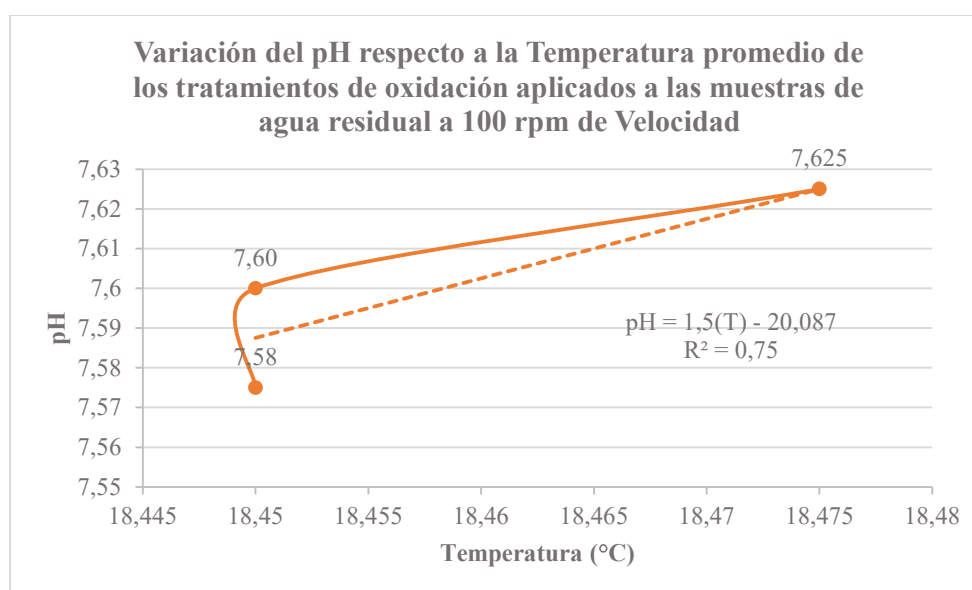


Figura 18. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual a 100 rpm de velocidad por semana

En el análisis de los mismos parámetros del segundo grupo, es decir considerando una velocidad media, se puede observar en la tabla 28 que también existe una tendencia de incremento, sin embargo, en esta ocasión se encuentra una relación a partir del 3 al 4%. Entre ellos no existe diferencia significativa, pero comparándolo con el grupo anterior hay un crecimiento mayor. La ecuación del modelo está expresa en la figura 19 y muestra nuevamente una relación directa entre las variables, en este caso el modelo fue

mucho más asertivo puesto que presenta un coeficiente de determinación de 0.94 lo que refleja que su predicción es mucho más confiable pues está muy cercana al valor ideal.

Tabla 28. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el oxidante a 200 rpm de velocidad por cada semana

Réplicas	a0b1		a1b1		a2b1	
	T	pH	T	pH	T	pH
R1	19.9	7.9	19.8	7.7	19.8	7.6
R2	18.3	7.9	18.4	7.8	18.4	7.7
R3	18.1	7.9	17.9	7.8	17.9	7.8
R4	19.4	7.8	19.1	7.9	19.1	7.9
Promedio	18.925	7.875	18.8	7.8	18.8	7.75
% Incremento	4.558	4.651	3.867	3.654	3.867	2.990

Elaborado por: La investigadora.

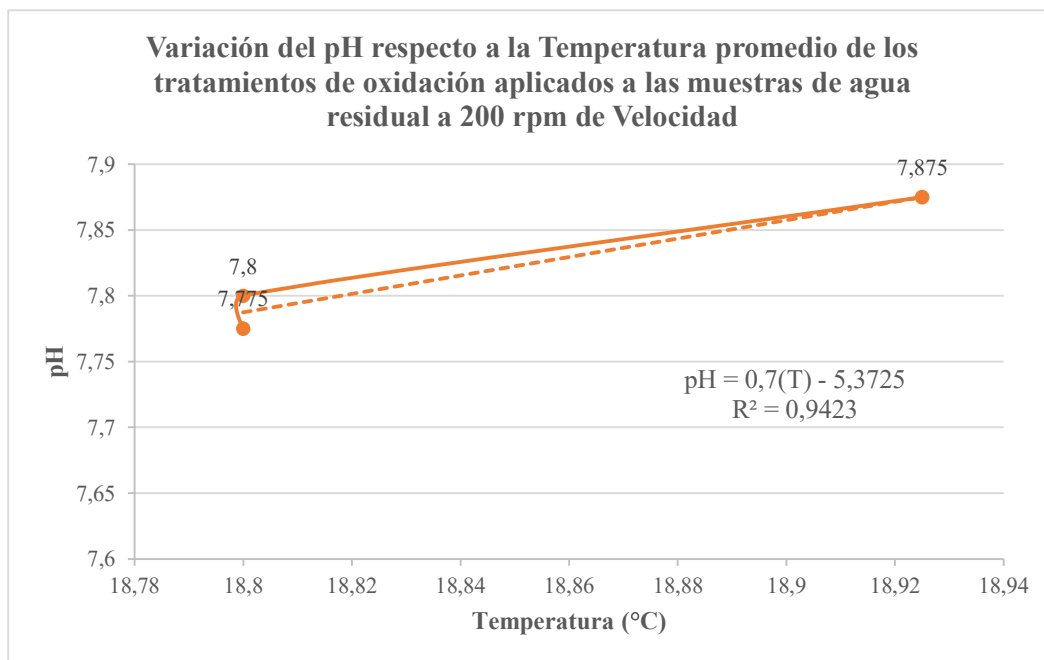


Figura 19. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual a 200 rpm de velocidad por semana

Al analizar los parámetros en el tercer grupo, velocidad de mezclado alta, la tabla 29 permite visualizar la misma tendencia de incremento; es mayor comparada a los dos escenarios anteriores pues lo hace a partir del 5 al 6%. La figura 20 muestra la

ejemplificación del modelo y su ecuación, cabe destacar que la relación mantiene una proporcionalidad directa y un coeficiente de determinación de 0.7.

Tabla 29. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el oxidante a 300 rpm de velocidad por cada semana

Réplicas	a0b2		a1b2		a2b2	
	T	pH	T	pH	T	pH
R1	20.1	8	19.9	7.8	20.1	7.8
R2	19.6	7.9	19.6	7.8	19.5	7.7
R3	18.6	7.9	18.6	7.9	18.6	7.8
R4	18.6	8.1	18.7	8.2	18.6	8.2
Promedio	19.225	7.975	19.2	7.925	19.2	7.875
% Incremento	6.215	5.980	6.077	5.316	6.077	4.651

Elaborado por: La investigadora.

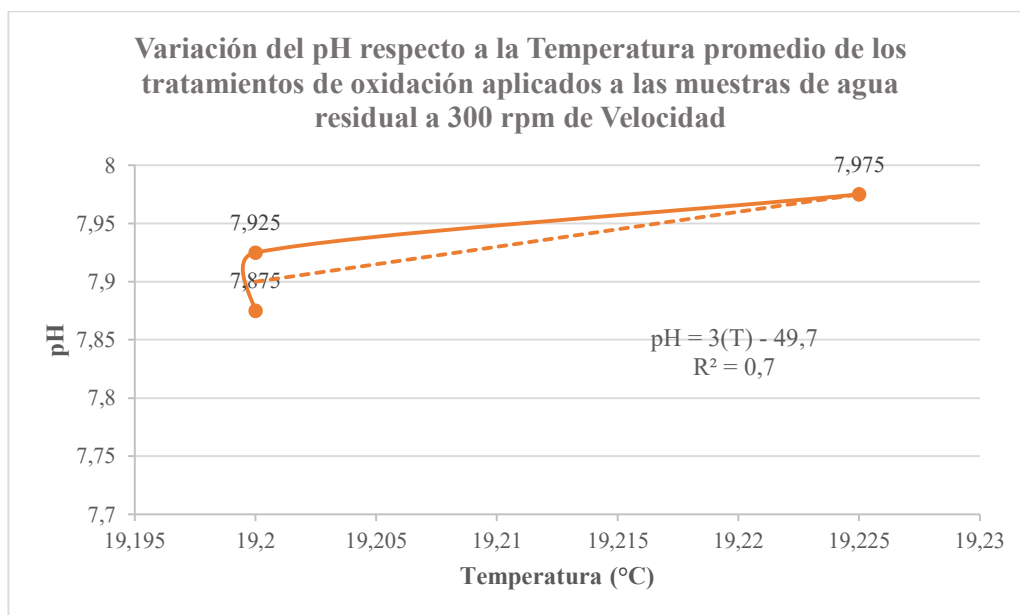


Figura 20. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de oxidación aplicados a las muestras de agua residual a 300 rpm de velocidad por semana

Los tratamientos aplicados bajo las distintas concentraciones de oxidante y velocidades de mezclado marcan un incremento gradual de temperatura al incrementar la velocidad, ello se explica ya que la velocidad propicia un movimiento más brusco de las moléculas y los choques que se originan provocan el alza de temperatura [79]. El pH como se

analizó incrementa conforme lo hace la temperatura, este parámetro es considerado un factor que favorece el proceso de oxidación por tanto el agente químico actúa oxidando el sulfuro y en su descomposición los iones OH reaccionan al ambiente ácido y lo van convirtiendo en alcalino [80].

4.1.3. Coagulante

La tercera metodología aplicada es la coagulación, esta operación busca desestabilizar las partículas al añadir agentes químicos y someter la muestra a agitación hasta formar soluciones homogéneas. Comúnmente se usa para remover turbiedad, destruir algas y eliminar sustancias suspendidas [68]. El proceso genera la atracción de cargas y permite la formación del floc al añadir iones específicos que permitan neutralizarlas, con ello se agrupan las partículas suspendidas y sedimentan [81].

Para la experimentación se emplea policloruro de aluminio (PAC), un compuesto inorgánico de apariencia líquida con muy buena solubilidad, de fácil aplicación, con baja producción de lodos y gran ahorro en su aplicación [69]. Para identificar la dosis adecuada del coagulante y las condiciones apropiadas de mezclado se empleó una prueba de jarras con muestras de la PTAR luego del proceso de cribado. En las jarras se colocaron diferentes dosis del coagulante (figura 21) y se aplicaron distintas velocidades de mezclado durante un mes con la finalidad de mantener réplicas en cada tratamiento.



Figura 21. Prueba de jarras (HACH) con la aplicación del coagulante a diferentes concentraciones

En cada uno de los tratamientos se evaluó la cantidad inicial y final del contenido de sulfuros (figura 22) detallando la información en la tabla 6 y 7 del anexo 5.4.1. Al igual que en el caso del oxidante, los tratamientos aplicados comprenden el análisis de dos factores: concentración (a0) y velocidad de mezclado (b0). La concentración del coagulante se trabajó a 50, 100 y 150 mg/L pues está recomendado trabajar con dosis de 50 a 500 mg/L para aguas residuales [69]. La velocidad de mezclado fue de 100, 200 y 300 rpm [82], las condiciones planteadas responden a una investigación realizada en el 2018 en donde se alcanzan porcentajes de remoción superiores al 80% [8]. El reactivo empleado está ajustado al 1% considerando que es la dilución que se emplea en las plantas que maneja la EP-EMAPA-A.



Figura 22. Reacción tras la aplicación del reactivo para identificar sulfuros en las pruebas con coagulante a diferentes concentraciones

A pesar de que las aguas residuales mantienen características propias y particulares, el agua de la PTAR Mollepamba se asemeja a las condiciones que mantienen las investigaciones de los trabajos mencionados con anterioridad. Con la finalidad de obtener un porcentaje de remoción de sulfuros muy parecido al teórico se combinaron los factores propuestos dando como resultados al igual que en la oxidación, 9 tratamientos con cuatro réplicas cada uno a lo largo de un mes.

A lo largo de la evaluación de los tratamientos, las muestras se fueron comparando por grupos manteniendo la velocidad de mezclado y variando la concentración del PAC. Además, se consideraron cambios temperatura y pH antes y después de cada tratamiento. En la figura 23 se visualizan de forma individual los valores obtenidos en cuanto a la disminución del contaminante. Los parámetros medidos como punto de control, temperatura y pH se muestran en la figura 24 y resume los promedios de su variación.

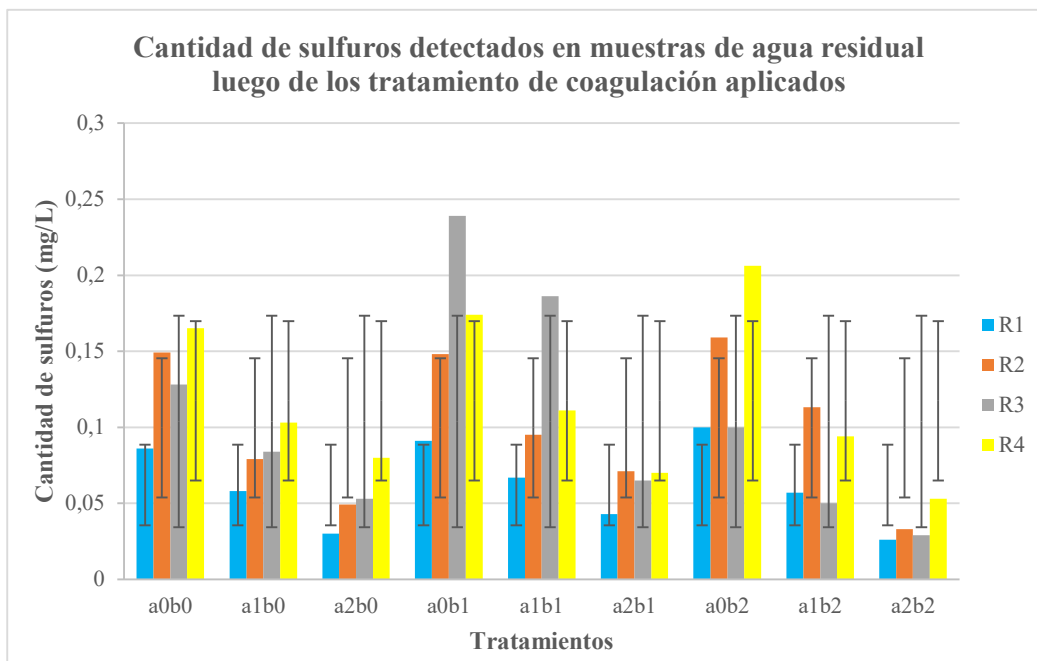


Figura 23. Resultados resumen de la cantidad de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de coagulación aplicados por semana. *Tratamientos:* **a0b0:** 50 mg/L-100rpm. **a0b1:** 50 mg/L-200rpm. **a0b2:** 50 mg/L-300rpm. **a1b0:** 100 mg/L-100rpm. **a1b1:** 100 mg/L-200rpm. **a1b2:** 100 mg/L-300rpm. **a2b0:** 150 mg/L-100rpm. **a2b1:** 150 mg/L-200rpm. **a2b2:** 150 mg/L-300rpm. **R:** número de réplica.

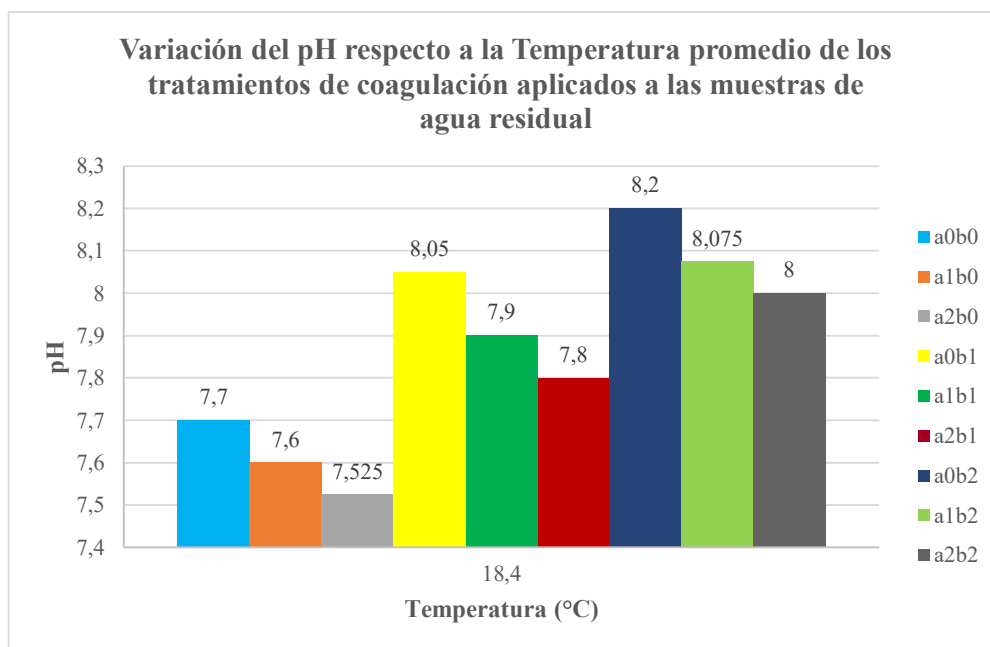


Figura 24. Resultados resumen promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulación aplicados a las muestras de agua residual por semana. *Tratamientos:* **a0b0:** 50 mg/L-100rpm. **a0b1:** 50 mg/L-200rpm. **a0b2:** 50 mg/L-300rpm. **a1b0:** 100 mg/L-100rpm. **a1b1:** 100 mg/L-200rpm. **a1b2:** 100 mg/L-300rpm. **a2b0:** 150 mg/L-100rpm. **a2b1:** 150 mg/L-200rpm. **a2b2:** 150 mg/L-300rpm.

En las muestras tratadas luego de aplicarse la metodología se identificó que la cantidad promedio inicial de sulfuros corresponde a 0.378 mg/L. Los tratamientos mencionados logran una reducción aproximada de sulfuros del 75% de forma general. Se puede detallar que de forma individual el tratamiento con una mejor remoción es el a2b2 (150 mg/L-300rpm) relacionando la mayor concentración del coagulante y la velocidad de mezclado más alta, la remoción lograda fue del 90.67%. El tratamiento que logra la menor disminución es el a0b1 (50 mg/L-200rpm) que emplea la menor concentración del coagulante y una velocidad media de mezclado. El detalle de estos datos se ubica en la tabla 30 y se muestra en la figura 25.

Tabla 30. Promedio de los resultados de los tratamientos variando la concentración del coagulante y la velocidad de mezclado de la prueba de jarras por semanas

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Promedio S ²⁻	% de remoción S ²⁻
a0b0 (500 mg/L-100rpm)	0.086	0.149	0.128	0.165	0.132	65.08
a1b0 (1000 mg/L-200rpm)	0.058	0.079	0.084	0.103	0.081	78.57
a2b0 (1500 mg/L-300rpm)	0.03	0.049	0.053	0.08	0.053	85.98
a0b1 (500 mg/L-100rpm)	0.091	0.148	0.239	0.174	0.163	56.88
a1b1 (1000 mg/L-200rpm)	0.067	0.095	0.186	0.111	0.1148	69.64
a2b1 (1500 mg/L-300rpm)	0.043	0.071	0.065	0.07	0.0623	83.53
a0b2 (500 mg/L-100rpm)	0.1	0.159	0.1	0.206	0.1413	62.63
a1b2 (1000 mg/L-200rpm)	0.057	0.113	0.05	0.094	0.0785	79.23
a2b2 (1500 mg/L-300rpm)	0.026	0.033	0.029	0.053	0.0353	90.67

Elaborado por: La investigadora.

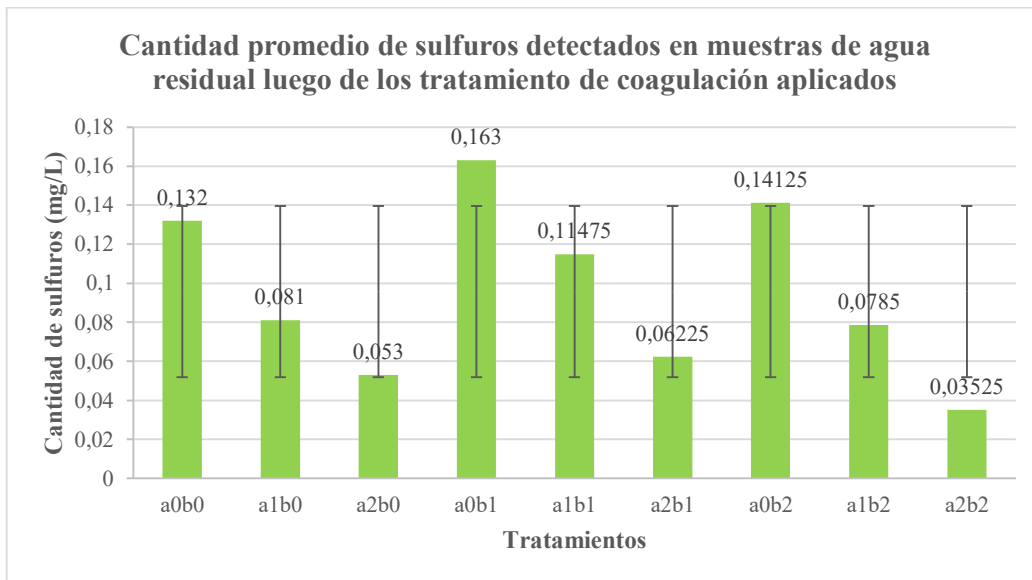


Figura 25. Resultados resumen de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de coagulación aplicados por semana. *Tratamientos:* **a0b0:** 50 mg/L-100rpm. **a0b1:** 50 mg/L-200rpm. **a0b2:** 50 mg/L-300rpm. **a1b0:** 100 mg/L-100rpm. **a1b1:** 100 mg/L-200rpm. **a1b2:** 100 mg/L-300rpm. **a2b0:** 150 mg/L-100rpm. **a2b1:** 150 mg/L-200rpm. **a2b2:** 150 mg/L-300rpm.

Al comparar los valores se puede identificar que existe una disminución considerable respecto a la cantidad de sulfuros iniciales y luego de cada tratamiento. Para un mejor análisis de los datos los promedios fueron agrupados considerando las condiciones de los tratamientos, es así que al mantener la velocidad baja (100 rpm) la disminución promedio alcanza el 76%, con una velocidad media (200 rpm) se logra una remoción del 70% y al trabajar con la máxima velocidad se muestra una remoción del 77.5%. Existe una diferencia entre cada uno de grupos, sin embargo, no se consideraría significativa al momento. Hay que mencionar que la velocidad de mezclado es un parámetro directamente relacionado con la velocidad de aglomeración de las partículas luego de la desestabilización de las cargas de los coloides favoreciendo la atracción. Es así que, mientras mayor sea la velocidad de mezclado mayor será la aglomeración de las partículas generando un floculo más pesado y acelerando la sedimentación [82].

El proceso de coagulación se favorece con la velocidad de agitación, sin embargo, el proceso de floculación requiere de una baja de velocidad y un reposo para poder ejecutarse efectivamente [83]. Además, hay que evaluar que al incrementar la velocidad esta no debe ser demasiado fuerte pues los flóculos podrían romperse, si bien la velocidad de mezclado influye de forma positiva en el contacto de las partículas; cuando

el valor es elevado los flóculos pueden llegar a destruirse mientras que a valores muy bajos la floculación puede ser incompleta [68].

Con base en la concentración del coagulante, se identifica que la menor concentración (50 mg/L) logra una remoción promedio del 62%, la concentración media (100 mg/L) logra el 76% y la concentración alta (150 mg/L) el 87%. Estos datos ratifican el mejor tratamiento, señalando el efecto que tiene la mayor concentración y la mayor velocidad de mezclado (Figura 26). Según los datos que se muestran en la investigación realizada en el 2012, la dosis apropiada de coagulante es aquella que logra la mejor remoción del contaminante en mención y depende directamente de la calidad del agua residual a ser tratada. Existen factores aledaños que intervienen en este proceso como el tiempo de mezclado y la temperatura de la muestra. Mientras más finas son las partículas que están suspendidas en el agua residual más complejo resulta el proceso de coagulación y por ende se requiere mayor cantidad de coagulante [83]. Cabe destacar que la coagulación como se muestra es un proceso bastante efectivo y de fácil aplicación, sin embargo, presenta una indicación que hay que considerar y es la generación de lodos y su disposición con la finalidad de evitar contaminación cruzada [84].

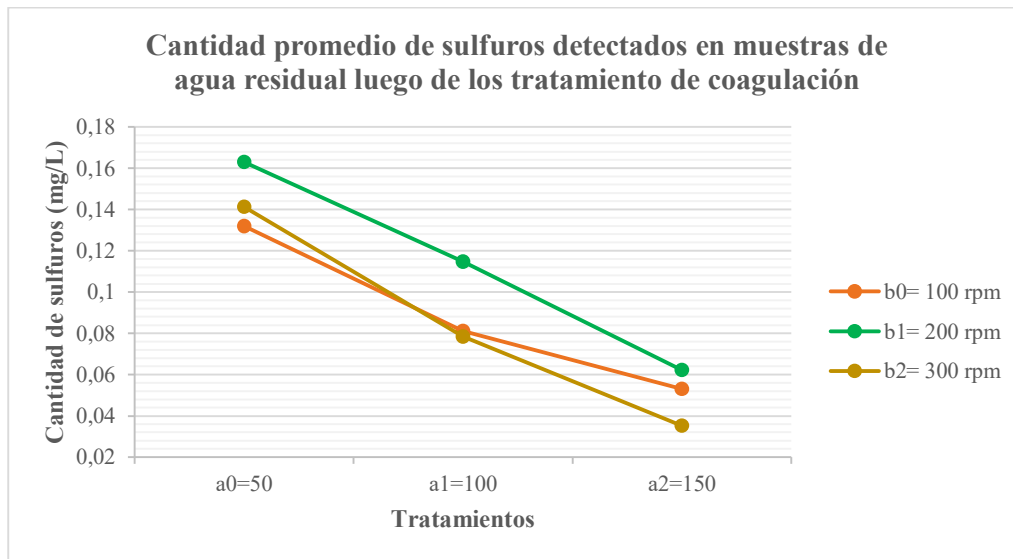


Figura 26. Resultados de la cantidad promedio de sulfuros detectados en muestras de agua residual luego de los tratamientos de coagulación. *Tratamientos:* **a0b0:** 50 mg/L-100rpm. **a0b1:** 50 mg/L-200rpm. **a0b2:** 50 mg/L-300rpm. **a1b0:** 100 mg/L-100rpm. **a1b1:** 100 mg/L-200rpm. **a1b2:** 100 mg/L-300rpm. **a2b0:** 150 mg/L-100rpm. **a2b1:** 150 mg/L-200rpm. **a2b2:** 150 mg/L-300rpm.

Además, estadísticamente se comprobó si existen diferencias significativas en la remoción de sulfuros entre los factores y sus combinaciones aplicando un análisis de varianza con un intervalo de confianza del 95%, Bajo este contexto se establecieron las siguientes hipótesis:

H0: No existe diferencia significativa entre en la disminución de sulfuros con los distintos tratamientos.

H1: Existe diferencia significativa entre en la disminución de sulfuros con los distintos tratamientos.

Al igual que en el caso del oxidante, los detalles se muestran en la tabla 8 en el Anexo 5.4.1. Con el análisis estadístico de varianza se puede concluir respecto a los resultados de la tabla 31 que no existe diferencia significativa entre las velocidades, réplicas y sus interacciones, sin embargo, entre las concentraciones de los tratamientos existe una diferencia significativa rechazando la hipótesis nula a un 95% de confianza.

Al existir diferencia significativa se requirió la aplicación de una prueba de Tukey adicionales para identificar la diferencia marcada entre los tratamientos, los datos empleados para ello se encuentran en la tabla 9 del Anexo 5.4.1.

Tabla 31. Análisis de varianza respecto a la concentración y velocidad de mezclado para el tratamiento de coagulación

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentraciones	0.0547605	2	0.02738025	20.2805539	4.1928E-06	3.35413083
Velocidades	0.00569867	2	0.00284933	2.11050148	0.140727293	3.35413083
Interacción	0.00111283	4	0.00027821	0.20606894	0.932812726	2.72776531
Réplicas	0.036452	27	0.00135007			
Total	0.098024	35				

Elaborado por: La investigadora.

Al aplicar la prueba Tukey se determinó que existe diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la concentración del coagulante, la diferencia radica entre la concentración a0 (50 mg/L) de las a1 (100 mg/L) y a2 (150 mg/L). La concentración baja del coagulante muestra diferencia significativa en sus resultados respecto a las demás, la concentración media y alta no lo hace pues entre ellas no se genera un

resultado con margen de diferencia amplio. Esto permite deducir que el incrementar la dosis de coagulante si bien genera un resultado positivo en la disminución de sulfuros, este resultado no es de gran impacto bajo la experimentación.

Sin embargo, con base en los promedios de remoción de sulfuros se puede mencionar que la mejor combinación es el tratamiento a2b2 (150 mg/L-300rpm) a pesar de que su resultado no difiere de los demás significativamente.

Tabla 32. Prueba Tukey aplicada a los tratamiento del proceso de coagulación

Tratamiento	a2b2	a2b0	a2b1	a1b2	a1b0	a1b1	a0b0	a0b2	a0b1	DMS Tukey
Promedio	0.035	0.053	0.062	0.079	0.081	0.115	0.132	0.141	0.163	0.087
0.035	0	0.018	0.027	0.043	0.046	0.080	0.097	0.106	0.128	
0.053		0	0.009	0.026	0.028	0.062	0.079	0.088	0.110	
0.062			0	0.016	0.019	0.053	0.070	0.079	0.101	
0.079				0	0.002	0.036	0.054	0.063	0.085	
0.081					0	0.034	0.051	0.060	0.082	
0.115						0	0.017	0.027	0.048	
0.132							0	0.009	0.031	
0.141								0	0.022	
0.163									0	

Elaborado por: La investigadora.

Con los resultados obtenidos se puede definir que el mejor tratamiento logra una remoción de sulfuros de aproximadamente 75%, este valor es mucho mayor con respecto a los tratamiento anteriores y logra ajustarse a la normativa actual vigente. La coagulación y floculación se definen como procesos de tratamiento primario avanzado que bajo el contexto que maneja la empresa tiene mucha factibilidad. Cabe recalcar que implicaría darle un mejor manejo a la PTAR por cuanto la limpieza se vuelve fundamental pues el proceso genera como residuo lodos que deben ser tratados, separados de la planta y los espacios de sedimentación requieren de purgas constantes. La ventaja más significativa del coagulante es que además de disminuir la cantidad de sulfuros, reducirá la materia orgánica y demás impurezas, sin embargo, estas serán atrapadas en los lodos que sedimentarán [85].

En el proceso de experimentación se midió la temperatura y el pH para evaluar puntos a considerarse y establecer su relación. El valor inicial promedio de la temperatura de las muestras corresponde a 18.1°C y el valor de pH a 7.5; como se muestra en la tabla 7 del

anexo 5.4.1. Los tratamientos analizados por grupos consideraron como constante a la velocidad de mezclado, en la tabla 33 se muestra la tendencia de incremento en ambos factores en relación de 0 y 2% a baja velocidad, sin embargo, no se presenta una diferencia significativa en ningún escenario. En la figura 27 se muestra la relación construida entre la temperatura y el pH. El modelo presenta un coeficiente de determinación de 0.99 lo que refleja mucha confiabilidad para ser usado pues este valor es muy cercano a 1. La gráfica permite identificar una relación hasta cierto punto inversa, sin embargo, tiende a estabilizarse.

Tabla 33. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el coagulante a 100 rpm de velocidad por cada semana

Réplicas	a0b0		a1b0		a2b0	
	T	pH	T	pH	T	pH
R1	19.4	7.9	19.7	7.7	19.6	7.5
R2	18	7.6	18	7.5	18	7.5
R3	17.2	7.6	17.2	7.6	17.3	7.6
R4	19	7.7	19	7.6	19.2	7.5
Promedio	18.4	7.7	18.475	7.6	18.525	7.525
% Incremento	1.657	0	2.072	0.997	2.348	0

Elaborado por: La investigadora.

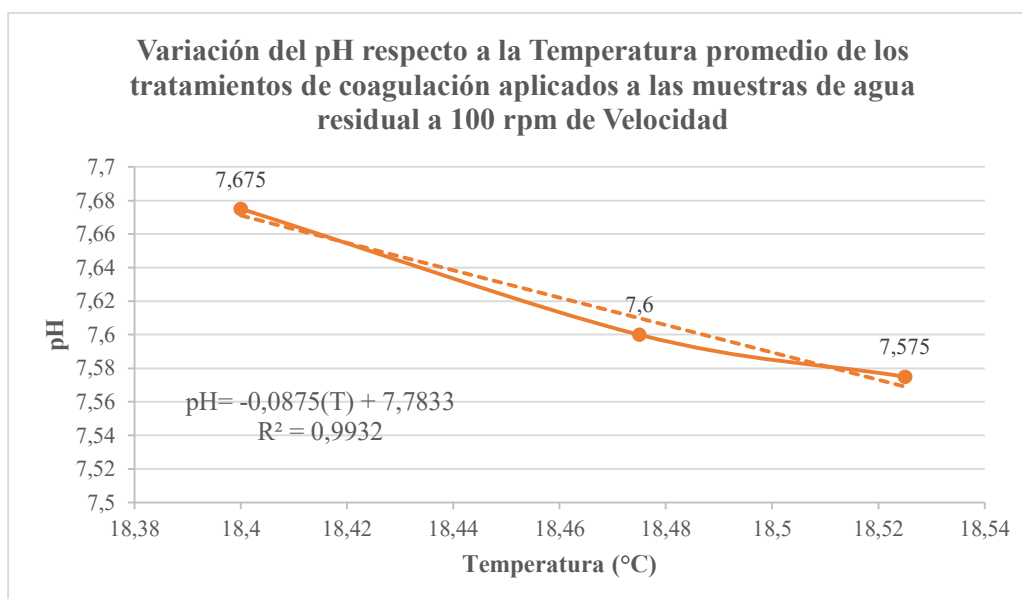


Figura 27. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulación aplicados a las muestras de agua residual a 100 rpm de velocidad por semana.

En el análisis del segundo grupo, considerando una velocidad media, se puede observar en la tabla 34 que existe una tendencia de incremento a partir del 4 al 5%. Entre ellos no existe diferencia significativa, pero comparándolo con el grupo anterior hay un crecimiento mayor. La ecuación del modelo está expresa en la figura 28 y muestra una relación directa entre las variables, en este caso el modelo se ajusta a coeficiente de determinación de 0.98.

Tabla 34. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el coagulante a 200 rpm de velocidad por cada semana

Réplicas	a0b1		a1b1		a2b1	
	T	pH	T	pH	T	pH
R1	19.9	8.3	19.7	8	19.7	7.8
R2	18.4	8.1	18.4	7.9	18.3	7.8
R3	18.5	7.9	18.5	7.9	18.2	7.9
R4	19.8	7.9	19.4	7.8	19.2	7.7
Promedio	19.15	8.05	19	7.9	18.85	7.8
% Incremento	5.801	6.977	4.972	4.983	4.144	3.654

Elaborado por: La investigadora.

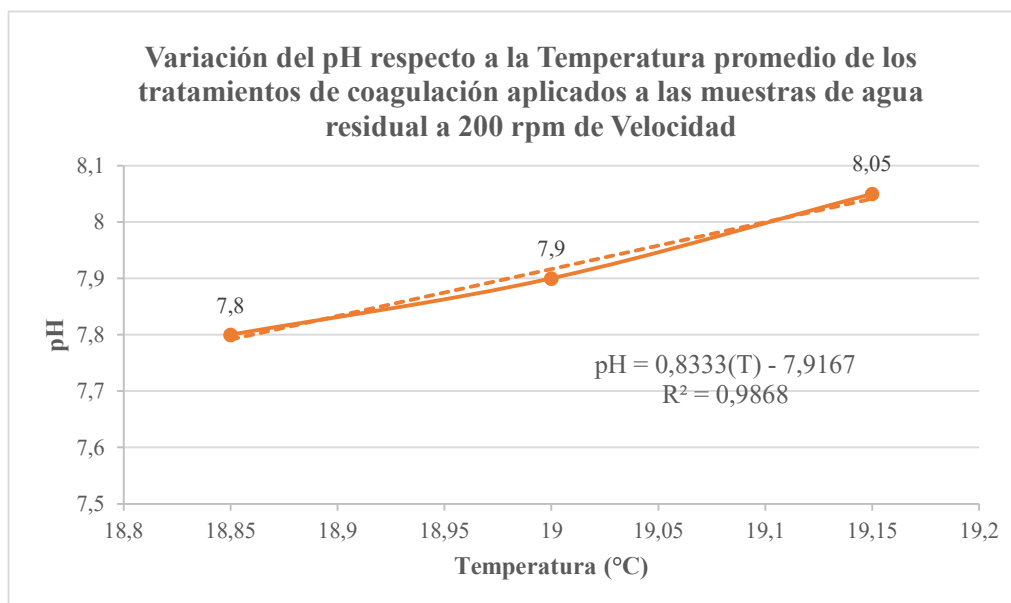


Figura 28. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulación aplicados a las muestras de agua residual a 200 rpm de velocidad por semana.

En el tercer grupo, velocidad de mezclado alta, la tabla 35 permite visualizar la misma tendencia de incremento que en el caso anterior; es mayor comparada a los dos escenarios anteriores pues lo hace a partir del 6 al 7%. La figura 29 muestra la ejemplificación del modelo y su ecuación, cabe destacar que la relación mantiene una proporcionalidad directa y un coeficiente de determinación de 0.65, valor que al estar alejado del ideal no refleja precisión en su predicción.

Tabla 35. Promedio de los resultados del registro final de parámetros de control para el tratamiento con el coagulante a 300 rpm de velocidad por cada semana

Réplicas	a0b2		a1b2		a2b2	
	T	pH	T	pH	T	pH
R1	20.3	8.5	20.3	8.1	20.3	7.9
R2	19.1	8.4	19.1	8.2	19.1	8.1
R3	18.3	8	18.4	7.9	18.5	7.9
R4	19.4	7.9	18.9	8.1	18.9	8.1
Promedio	19.275	8.2	19.175	8.075	19.2	8
% Incremento	6.492	8.970	5.939	7.309	6.077	6.312

Elaborado por: La investigadora.

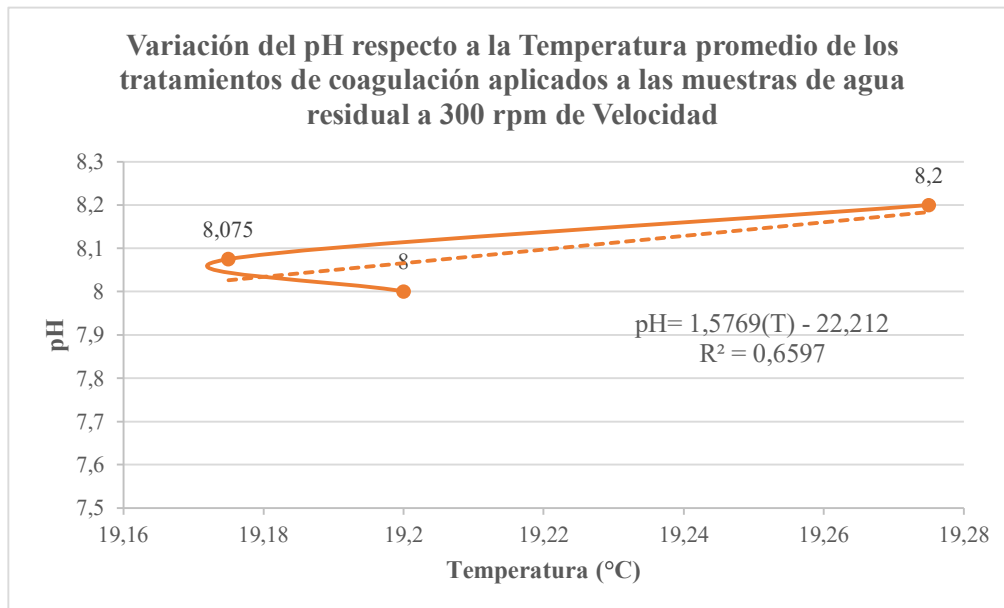


Figura 29. Resultados promedio de la variación del pH respecto a la Temperatura del tratamiento de coagulante aplicados a las muestras de agua residual a 300 rpm de velocidad por semana

De acuerdo a un estudio realizado en el 2014, se manifiesta que el PAC no genera un cambio brusco ni en la temperatura ni en el pH de la muestra, de hecho la adición del coagulante al agua no produjo una disminución o aumento significativa de los valores [68]. Este coagulante no presenta mayor dependencia de la temperatura y el pH [86].

La temperatura del agua tratada influye en la efectividad del proceso de coagulación y por ende en la formación del floc, cuando la temperatura disminuye todo el proceso de retarda y para lograr el mismo resultado se requiere incrementar la dosificación del coagulante [82]. Es importante mencionar también que a pH neutro el proceso de coagulación es más eficiente, los parámetros establecidos son de cuidado pues temperaturas elevadas pueden provocar incrementos en la densidad del agua y si el pH está fuera del rango óptimo el coagulante perderá su efectividad [84].

Tabla 36. Respuestas de los mejores resultados de cada tratamiento aplicado a la remoción de sulfuros del agua residual de la PTAR de la EP-EMAPA-A

Método	Tratamientos	Contenido del sulfuro (mg/L)		
		Entrada	Salida	% Remoción
Aeración	a0b1	0.335	0.296	17
AOP	a2b2	0.378	0.251	33
Coagulación	a2b2	0.378	0.035	91

Elaborado por: La investigadora.

Según los datos de la tabla 35. al comparar los mejores tratamientos de cada una de las metodologías aplicadas se puede evidenciar que el único que alcanza el objetivo propuesto es el empleo del coagulante ya que se alcanza una remoción aproximada del 91%. A nivel experimental y de laboratorio como se muestra en la tabla 10 del anexo 5.4.1. se plantearon gastos aproximados de los tratamientos evaluados considerando que el más costoso sería la aeración por la adquisición de la bomba de agua, en el caso de los reactivos existe una mejor rentabilidad con el PAC. El presente estudio es una etapa que busca proponer una alternativa que sea beneficiosa para la empresa mas no hace énfasis en su implementación ya que para ello se requiere una análisis más profundo, sin embargo, se puede estimar una proyección con base en los ensayos desarrollados.

Cabe destacar que la remoción lograda con el mejor tratamiento provocó que la concentración de sulfuros baje hasta ajustarse a la normativa, según el TULSMA se exige un valor máximo de 0.5 mg/L del contaminante y con el tratamiento propuesto se logró disminuir la concentración hasta 0.03 mg/L.

CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

- Según los parámetros fisicoquímicos exigidos por la normativa ambiental vigente del TULSMA (tabla 9), se concluye que la PTAR Mollepamba al mantener un tratamiento primario no logra una disminución suficiente de sólidos suspendidos, turbiedad, DBO5, DQO y sulfatos. La razón de su ineficacia es la acumulación de lodos y materia orgánica retenida que generan una contaminación aleadaña que, a su vez, incrementa el contenido de sulfuros en una proporción mayor al 100% del valor inicial sobrepasando así el valor exigido por la norma.
- A través de una comparación del contenido de sulfuros a lo largo de la PTAR se pudo identificar que el punto crítico de contaminación del agua residual se encuentra en la fosa séptica ya que el contaminante tiene un incremento mayor al 100% y a pesar de que el filtro percolador logra disminuir cierta cantidad sigue siendo muy superior a lo que exige la normativa. Al ser la fosa un punto de acumulación de materia orgánica en donde tiene lugar la sedimentación, la acumulación de lodos es inminente y su limpieza y purga es fundamental.
- La relación del pH y la temperatura se evaluó en cada uno de los tratamientos indicando que de forma general existe una relación directa entre ambos factores ya que mientras incrementa la temperatura lo hace el pH también. A pesar de que el incremento no es significativo, se recalca que la temperatura favorece la eficiencia de los procesos y crece por el movimiento molecular acelerado a causa de la agitación alta y el mayor tiempo de exposición a la bomba de agua. El aumento del pH indica que el proceso de oxidación del sulfuro está transformando el medio ácido a alcalino reflejando un efecto positivo.
- Con base en los resultados de la experimentación se puede concluir que con la aeración se alcanza una remoción del 17% con el tratamiento a0b1; con la oxidación se remueve el 33% con el tratamiento a2b2 y con la coagulación el mejor método es el a2b2 con el 91%. A nivel general, la mejor opción implica el

empleo del coagulante con una dosificación de 150 mg/L y una velocidad de mezclado de 300 rpm. El tratamiento mencionado logra bajar la concentración hasta ajustarla a la normativa exigiendo un valor máximo de 0.5 mg/L. El valor promedio de la carga de sulfuros que ingresa a la PTAR es de 0.377 mg/L y con el tratamiento propuesto se alcanza un valor de 0.03 mg/L.

5.2. Recomendaciones

- Para lograr mayor efectividad en los procesos que actualmente maneja la PTAR Mollepamba y en los que se recomienda implementar se sugiere una purga y limpieza constante de por lo menos 1 vez por semana sobre todo en la fosa séptica y el filtro percolador de modo que se evite la acumulación de residuos orgánicos y que la materia retenida no se convierta en una causa de contaminación alemana que perjudique los tratamientos primarios y no logre ajustarse a la normativa.
- Con la finalidad de evitar o disminuir la contaminación generada a través del agua residual con la materia sedimentada se recomienda investigar e implementar un proceso de gestión de residuos y tratamiento de lodos de modo que pueda evacuarse y mantener la planta funcional. Cabe destacar que esta investigación podría escalarse y aplicarse al resto plantas de la EP-EMAPA-A que presentes problemas de contaminación similares a los del estudio.
- Con respecto a la rentabilidad, es importante mencionar que este proyecto representa una fase de estudio que permite identificar el mejor método de tratamiento, sin embargo, su implementación implica un estudio adicional que abarque todos los detalles necesarios de acuerdo a la PTAR. Si bien los datos de la investigación actual permiten dimensionar a nivel de laboratorio el tratamiento propuesto es importante considerar la proyección y evaluar su ejecución.

5.3. Bibliografía

- [1] L. Lamastra, M. Balderacchi, and M. Trevisan, “Inclusion of emerging organic contaminants in groundwater monitoring plans,” *MethodsX*, vol. 3. no. May, pp. 459–476. 2016. doi: 10.1016/j.mex.2016.05.008.
- [2] M. A. Medina and P. Pozo, “Determinación de cromo hexavalente en Descargas De Aguas Residuales De Una Curtiembre, Ubicada En El Sector De Izamba, Ambato En La Provincia De Tungurahua , Determination of Hexavalent Chromium in Wastewater Discharge of a Tannery , Located in the Field,” no. vi, 2013.
- [3] S. Tayupanda, “Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, Curtiembre Pieles ‘PUMA,’” *Esc. Super. Politécnica Chimborazo. Esc. Ing. Química*, vol. 9. no. 1. pp. 76–99. 2010.
- [4] EP-EMAPA-A, “EP-EMAPA-A comprometido con el Tratamiento de Aguas Residuales,” *PORTAL EP-EMAPA-A*, Ambato, 08-Aug-2019.
- [5] K. Reynolds, “Tratamiento de Aguas Residuales en latinoamérica,” *Articulo*, pp. 1–4. 2002.
- [6] P. O. Veintimilla, “Innovación e implementación biológica en la planta de Puerto Arturo–EMAPA-A para el tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias,” 2014.
- [7] L. Jarrín, “REDUCCIÓN DE SULFUROS EN EL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE LA CURTIEMBRE,” no. June, 2016.
- [8] N. Ortiz, J. Ayala, A. León, and L. Mahecha, “Extracción y recuperación de sulfuros de aguas residuales de curtiembres Extraction and recovery of sulphides from tanneries wastewater,” vol. 3461. 2018.
- [9] M. Romero-Aguilar, A. Colín-Cruz, E. Sánchez-Salinas, and M. L. Ortiz-Hernández, “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 25. no. 3. pp. 157–167. 2009.
- [10] G. I. Pilataxi Contreras and J. J. Santos Zambrano, “Automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del Caserío Mollepamba.,” 2017.
- [11] TULSMA, “Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente,” pp.

- 1–407. 2017.
- [12] EP-EMAPA -A, “Laboratorios de Control de Calidad EP - EMAPA - A.” 2021.
- [13] M. F. Umbarila-ortega, J. S. Prado-rodríguez, and R. N. Agudelo-valencia, “Remoción de sulfuro empleando ozono como agente oxidante en aguas residuales de curtiembres,” vol. 28. no. 51. pp. 0–2. 2019.
- [14] E. Cuaspud, “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA DE YAZNÁN, RÍO BLANCO, RÍO PULUVÍ Y RÍO GUACHALÁ DEL CANTÓN CAYAMBE,” *Univ. Cent. DEL ECUADOR Fac.*, vol. 4. pp. 9–15. 2017.
- [15] W. Astudillo, “Falta de control en la contaminación del agua provocado por los desechos tóxicos de las industrias al Río Machángara y la vulneración de los derechos ambientales,” p. 96. 2016.
- [16] G. Pauta *et al.*, “Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador,” *Maskana*, vol. 10. no. 2. pp. 76–88. 2019. doi: 10.18537/mskn.10.02.08.
- [17] Constitución de la Republica del Ecuador, “Constitución de la República del Ecuador 2008.” *Incluye Reformas*, pp. 1–136. 2008.
- [18] K. Rosero, “ESTABLECIMIENTO DE UN NUEVO ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS BASADO EN LA PRESENCIA DE DIATOMEAS EPILÍTICAS Y EPIFÍTAS EN LOS ANDES ECUATORIANOS,” pp. 1–18.
- [19] ENCA, “Estrategia Nacional de Calidad del Agua,” *Minist. del Ambient.*, 2016.
- [20] MAGAP, “Plan Nacional de Riego y Drenaje,” *Subsecr. Riego y Dren.*, p. 188. 2013.
- [21] M. Masabanda, C. Echegaray, and V. Delgado, “Análisis y localización de curtiembre en el cantón Ambato, como parte de patrimonio cultural en el Ecuador,” *Rev. Ciencias Segur. y Def.*, vol. II, no. 4. p. 43. 2017.
- [22] P. BENÍTEZ and L. MIRANDA, “1 Departamento de Botánica y Ciencias Básicas , Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales , Universidad de Los Andes , Mérida , Venezuela . 2 Centro de Microscopía Electrónica ‘ Dr . Ernesto Palacios Prü ’, Universidad de Los Andes , Mérida , Venezuel,” *Vol. 29*. vol. 29. pp. 1–18. 2013.
- [23] M. Baquerizo, M. Acuña, and M. Solis-Castro, “Contamination of river: case Guayas river and its affluent,” *Manglar*, vol. 16. no. 1. pp. 63–70. 2019. doi:

10.17268/manglar.2019.009.

- [24] U. F. Carreño, “Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*,” *Rev. Colomb. Biotecnol.*, vol. 18. no. 2. p. 74. 2016. doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271.
- [25] OEFA, “Fiscalización ambiental en aguas residuales.,” *Org. Eval. y Fisc. Ambient.*, p. 36. 2014.
- [26] E. Diaz, A. Alvarado, and K. Camacho, “El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya,” *Quivera*, pp. 78–97. 2012.
- [27] G. Fuquene, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMATIZADA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA,” *Univ. SAN BUENAVENTURA-FACULTAD Ing. PROGRAMA*, 2006.
- [28] G. Teijon, L. Candela, K. Tamoh, A. Molina-Díaz, and A. R. Fernández-Alba, “Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain),” *Sci. Total Environ.*, vol. 408. no. 17. pp. 3584–3595. 2010. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.04.041.
- [29] C. Kelley, K. K. Gaither, A. Baca-Spry, and B. J. Cruickshank, “Incorporation of Phytoremediation Strategies into the Introductory Chemistry Laboratory,” *Chem. Educ.*, vol. 5. no. 3. pp. 140–143. 2000. doi: 10.1007/s00897000383a.
- [30] R. Baque, L. Simba, B. González, P. Suatunce, E. Díaz, and L. Cadme, “Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador,” *Rev. Cienc. UNEMI*, vol. 9. pp. 109–117. 2016.
- [31] L. Argandoña and R. Macías, “DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES, SUSPENDIDOS, SEDIMENTADOS Y VOLÁTILES, EN EL EFLUENTE DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN SITUADAS EN LA PARROQUIA COLÓN, CANTÓN PORTOVIEJO, PROVINCIA DE MANABÍ, DURANTE EL PERÍODO DE MARZO A SEPTIEMBRE 2013.” *Univ. Técnica Manabí*, 2013.

- [32] J. Arocutipa, “Evaluación y propuesta técnica de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Massiapo del distrito de Alto Inambari - Sandia,” *Univ. Nac. del Altiplano-Puno*, p. 81. 2013.
- [33] I. Salgado, C. Durán, M. Cruz, M. Carballo, and A. Martínez, “BACTERIAS RIZOSFÉRICAS CON POTENCIALIDADES FISIOLÓGICAS PARA ELIMINAR MATERIA ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES,” vol. 28. no. 1. pp. 17–26. 2012.
- [34] R. Bakiyaraj, L. Baskaran, A. L. Chidambaram, T. Mahakavi, and M. Santhoshkumar, “Bioremediation of Chromium by Bacillus subtilis and Pseudomonas aeruginosa Original Research Article Bioremediation of Chromium by Bacillus subtilis and Pseudomonas aeruginosa Pollution due to chemicals including heavy,” no. January 2014. 2016.
- [35] N. Benitez, “Cleaner production and bioremediation for reduction of pollution in the industry of chrome tannery,” *Rev. del Dr. Interinstitucional en Ciencias Ambient.*, vol. 1. no. December 2011. pp. 25–31. 2011.
- [36] Ó. R. Mancilla-Villa, H. M. Ortega-Escobar, C. Ramírez-Ayala, E. Uscanga-Mortera, R. Ramos-Bello, and A. L. Reyes-Ortigoza, “Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 28. no. 1. pp. 39–48. 2011.
- [37] S. Segura, T. Beltramini, A. Takayanagui, S. Hering, and P. Cupo, “Metales pesados en agua de bebederos de presión,” *SCIELO*, vol. 53. no. 1. pp. 285–287. 2003. doi: 10.1016/B978-0-323-60984-5.00062-7.
- [38] E. Soto, R. Miranda, C. Sosa, and J. Loredó, “Optimization of the Removal Process of Heavy Metals from raw water of galvanic industry by chemical precipitation,” *SCIELO*, vol. 17. no. 2. pp. 33–42. 2006.
- [39] R. Ramos, R. Sepúlveda, and F. Villalobos, *El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis*, 1ra ed. California, 2003.
- [40] E. A. Prado Villacreses, “Estado de la Calidad del Agua del Río Teañe (Cuenca Baja) entre la Termoeléctrica y la Desembocadura del Río Esmeraldas, Sector de la Propicia 1.” p. 71. 2015.
- [41] J. C. Saldarriaga, D. Á. Hoyos, and M. A. Correa, “Evaluación De Procesos Biológicos Unitarios En La Remoción Simultánea De Nutrientes Para Minimizar La Eutrofización (Evaluation of Biological Unit Processes in the Simultaneous

- Removal of Nutrients To Minimize Eutrophication),” *Rev. EIA*, vol. 8. no. 15. pp. 129–140. 2013.
- [42] D. M. Méndez and E. Arias, “Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros,” *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 5. no. 3. pp. 115–123. 2014.
- [43] C. García, P. Gortáres, and P. Drogui, “Emerging contaminants: effects and removal treatments,” *Rev. Química Viva*, vol. 10. no. 2. pp. 96–105. 2011.
- [44] I. Salgado, H. Cárcamo, A. Martínez, E. Carballo, M. Cruz, and M. Durán, “Efectos Ambientales De Contaminantes Químicos En Las Aguas: Una Propuesta Biotecnológica Para Su Eliminación,” *Rev. Cuba. Química*, vol. XXIII, no. 3. pp. 87–95. 2011.
- [45] A. G. Villacis Proaño, “Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua,” p. 254. 2011.
- [46] EP-EMAPA-A, “INFORME EMAPA PTAR,” *Dirección de Gestión de Proyectos e Infraestructura*, 2021.
- [47] J. Costa and L. Ultravioleta, “Uso adecuado de lámparas Germicidas,” pp. 2–3. 2019.
- [48] M. Blanco, B. Murillo, D. Forero, and I. Cabeza, “Evaluación y Eficiencia de Remoción de Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) y Amoniaco (NH₃) a través de Biofiltración a Escala Piloto.,” *Rev. ECAG Inf.*, no. 53. pp. 16–21. 2010.
- [49] EP-EMAPA-A, “Plantas de tratamiento de aguas residuales.” 2021.
- [50] G. Salas, “Eliminación De Sulfuros Por Oxidación En El Tratamiento Del Agua Residual De Una Curtiembre,” *Rev. Peru. Química e Ing. Química*, vol. 8. no. 1. pp. 49–54. 2005.
- [51] M. Bustos and O. Pérez, “Evaluación De La Oxidación De Contaminantes En Agua De Pelambre De La Curtiembre El Porvenir, Ubicada En El Municipio De Chocontá En Cundinamarca, Mediante Un Proceso De Oxidación Avanzada Con Ultrasonido Asistido Con Ozono Y Radiación Uv,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53. no. 9. pp. 1689–1699. 2018.
- [52] J. E. Forero, O. P. Ortiz, and F. Rios, “Advanced oxidation processes as phenol treatment in industrial sewage,” *CT&F - Ciencia, Tecnol. y Futur.*, vol. 3. no. 1.

- pp. 97–109. 2005.
- [53] Landázuri Gaponchuk Diego Esteban, “Disolución de Sulfuros Metálicos Utilizando Peróxido de Hidrógeno como Agente Oxidante en Medio Ácido,” *Univ. San Fr. Quito*, 2013.
- [54] L. Águila, V. Rejo, and R. Vieira, “El Tratamiento De Aguas Industriales Contaminadas Con Sulfuros,” *Residuos Rev. técnica*, pp. 64–71. 2003.
- [55] R. T. Sataloff, M. M. Johns, and K. M. Kost, “Eliminación de sulfatos en un reactor de lecho móvil anaerobio-aerobio,” *Univ. Nac. Autónoma México*, 2008.
- [56] A. Infantes and L. Saavedra, “Remoción de sulfuros in situ de la etapa de pelambre del proceso de curtido de pieles, mediante oxidación química con peróxido de hidrógeno, a nivel piloto e influencia sobre la calidad del cuero terminado,” *Univ. Nac. Trujillo*, vol. 1. p. 78. 2019.
- [57] Z. Song, C. J. Williams, and R. G. J. Edyvean, “Coagulation and anaerobic digestion of tannery wastewater,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 79. no. 1. pp. 23–28. 2001. doi: 10.1205/095758201531103.
- [58] Z. Chambi-Hanco, “Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación-floculación y adsorción,” p. 75. 2018.
- [59] GAD Picaihua, “ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARROQUIA,” *Gob. Auton. Descent. PARROQUIAL Rural PICAIHUA*, 2019.
- [60] G. Mousalli-Kayat, “Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa,” *Mérida*, no. June, pp. 1–39. 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.2633.9446.
- [61] INEN, “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 21. 2006.
- [62] INEN, “Agua, Calidad Del Agua, Muestreo, Manejo Y Conservación De Muestras,” vol. 1. p. 23. 1987.
- [63] INEN, “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO.,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 21. 2006.
- [64] Insitituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, “Instructivo Para La Toma De Muestras De Aguas Residuales,” *Minist. Ambient. vivienda y Desarro. Territ.*, p. 17. 2007.
- [65] SENASBA, “Guía para la toma de muestras de agua residual.” 2015.

- [66] Servicio de Acreditación Ecuatoriano, “Alcance de Acreditación. Laboratorio de Control de Calidad. EP Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato EMAPA,” *SAE*, pp. 2–3. 2016.
- [67] HACH, “LCW053 Sulfuro,” *HACH LANGE GMBH*, vol. 1. pp. 10–11. 2019.
- [68] T. Lastra, “ESTUDIO DE LA FLOCULACIÓN CON ENERGÍA CINÉTICA EN UN REACTOR TUBULAR,” *Esc. Politécnica Nac.*, 2010.
- [69] Aldar Química S.A., “Coagulante inorgánico a base de sal polimerica de policloruro de aluminio,” *PAC- Policloruro Alum.*, no. 52 55. p. 5395. 2020.
- [70] A. Saltos, *Análisis en el desarrollo de alimentos procesados*, vol. 1. Ambato, 2010.
- [71] L. Lliully, M. Muñoz, and M. García, “Evaluación De La Calidad De Los Parámetros Fisicoquímicos Y Bacteriológicos De Las Aguas Residuales De La Ciudad De La Paz, Bolivia,” *Rev. Boliv. Quim.*, vol. 34. no. 4. pp. 104–111. 2017.
- [72] I. Muñoz and C. Orellana, “Caracterización de lodos de fosas sépticas de las plantas de tratamiento rurales del cantón Cuenca,” *Univ. Del Azuay Fac. Cienc. Y Tecnol.*, 2019.
- [73] J. Agudelo and A. Alvear, “Estudio de la sedimentabilidad de los sólidos presentes en el tratamiento primario del agua residual doméstica de la ciudad de Cali,” *Univ. del Val.*, 2015.
- [74] IDEAM, “Sulfuro En Agua Por Volumetría,” p. 6. 2007.
- [75] R. R. Hernandez, “Estudio de la eliminación y de la prevención de la generación de sulfuros en redes de saneamiento,” 2012.
- [76] J. Betancur, S. Sánchez, D. Rodríguez, and G. Peñuela, “Evaluación del efecto del peróxido de hidrógeno y estabilización alcalina con cal en el manejo de lodos reactivos e infecciosos,” *Prod. + Limpia*, vol. 12. no. 1. pp. 24–32. 2017. doi: 10.22507/pml.v12n1a2.
- [77] D. Ramírez Hernández, I. María, M. Quintero, C. Curbelo Hernández, L. Crespo, and Z. Iii, “Influencia del tamaño de partícula y la velocidad de agitación sobre el rendimiento de pectina Influence of the particle size and the stirring speed over the pectin yield,” *Rev. Cuba. Farm.*, vol. 50. no. 1. pp. 98–105. 2016.
- [78] S. Bes Monge, A. M. . Silva, and C. Bengoa, *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*,

- no. 978-84-09-08637-5. 2016.
- [79] O. G. Yepsen Ferreira, "Evaluación de procesos de oxidación avanzados en el procesamiento de minerales sulfurados y concentrados de cobre," *Tesis Dr.*, pp. 1–105. 2018.
- [80] F. Urrutia, M.; Graña, J.;García-Rodeja, R.; Macias, "Procesos de oxidación de pirita en medios superficiales: potencial acidificante e interés para la recuperación de suelos de mina Pyrite oxidation processes in surface systems : acidifying potential and its interest in minesoils re- clamation," pp. 131–145.
- [81] M. Díaz, L. Rivas, D. Fernández, D. Salazar, S. Miller, and N. La Maza, "Selección de programa químico de tratamiento para aguas residuales oleosas," *Cent. Azúcar*, vol. 44. no. 2. pp. 89–100. 2017.
- [82] T. Jiménez and J. Medina, "Influencia de la dilución del sulfato de aluminio en la eficiencia de la coagulación en la potabilización del agua," *Esc. politécnica Nac.*, p. 157. 2017.
- [83] J. Silva, "EFECTO COAGULANTE DE LA ALÚMINA EN LA REMOCIÓN DE SULFUROS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL EFLUENTE DE PELAMBRE, INVERSIONES HAROD S.A.C," *Esc. ACADÉMICO Prof. Ing. Ambient.*, pp. 0–116. 2016.
- [84] S. Castellanos and M. Tusarma, "Evaluación fisicoquímica por el método de adsorción- coagulación-floculación para la remoción de colorantes del efluente del área de procesos industriales de la empresa textil CO&TEX S.A.S," p. 123. 2014.
- [85] M. G. Zerbato, "Coagulación optimizada en el tratamiento de potabilización de agua: su efecto sobre la remoción de enteroparásitos," *Fabicib*, vol. 18. pp. 279–281. 2015. doi: 10.14409/fabicib.v18i0.4881.
- [86] J. M. C. Flórez, "Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxiclорuro de aluminio," *DYNA*, vol. 78. no. 165. pp. 18–27. 2011.

5.4. Anexos

5.4.1. Cálculos adicionales

Tabla 1. Resultados de los tratamientos considerando el tiempo de bombeo de aire para la remoción de sulfuros por semana

Tratamiento	Tiempo (horas)							
	S1		S2		S3		S4	
	2	4	2	4	2	4	2	4
Flujo de aire	0.198	0.188	0.374	0.356	0.317	0.292	0.388	0.304

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 2. Resultados del registro inicial y final de parámetros de control para el tratamiento de bombeo de aire por cada semana

Semana	Tratamiento	Inicial			a0b0			a0b1		
		pH	Temp. (°C)	Sulfuro (mg/L)	pH	Temp. (°C)	Sulfuro (mg/L)	pH	Temp. (°C)	Sulfuro (mg/L)
1	Flujo de aire	7.6	17.3	0.207	8.5	18.3	0.198	8.7	19.4	0.188
2	Flujo de aire	7.86	18.2	0.38	8.4	19.1	0.374	8.5	20.5	0.356
3	Flujo de aire	7.86	18.2	0.356	8.1	20.6	0.317	8.4	20.8	0.292
4	Flujo de aire	7.9	18.7	0.398	8.1	21.2	0.388	8.5	21.5	0.304

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 3. Resultados de los tratamientos variando la concentración del oxidante y la velocidad de mezclado de la prueba de jarras por semanas

Concentración del oxidante (mg/L)	Velocidad de mezclado (rpm)											
	S1			S2			S3			S4		
	V1 100	V2 200	V3 300	V1 100	V2 200	V3 300	V1 100	V2 200	V3 300	V1 100	V2 200	V3 300
C1 (500)	0.174	0.164	0.2	0.337	0.359	0.372	0.322	0.292	0.233	0.353	0.381	0.337
C2 (1000)	0.201	0.2	0.196	0.3	0.341	0.354	0.312	0.261	0.222	0.351	0.375	0.282
C3 (1500)	0.206	0.197	0.188	0.275	0.337	0.324	0.318	0.236	0.218	0.347	0.328	0.275

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 4. Resultados del registro inicial y final de parámetros de control para el tratamiento con el oxidante por cada semana

Semana	Tratamiento	Inicial			Final		
		pH	Temperatura (°C)	Sulfuros (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Sulfuros (mg/L)
1	a0b0	7.5	17.3	0.207	7.6	19.4	0.174
	a1b0				7.7	19.3	0.201
	a2b0				7.7	19.1	0.206
	a0b1				7.9	19.9	0.164
	a1b1				7.7	19.8	0.2
	a2b1				7.6	19.8	0.197
	a0b2				8	20.1	0.2
	a1b2				7.8	19.9	0.196
	a2b2				7.8	20.1	0.188
2	a0b0	7.3	18.2	0.38	7.6	18.1	0.337
	a1b0				7.5	18	0.3
	a2b0				7.3	18.1	0.275
	a0b1				7.9	18.3	0.359
	a1b1				7.8	18.4	0.341
	a2b1				7.8	18.4	0.337
	a0b2				7.9	19.6	0.372
	a1b2				7.8	19.6	0.354
	a2b2				7.7	19.5	0.324
3	a0b0	7.6	18.2	0.356	7.7	17.3	0.322
	a1b0				7.7	17.4	0.312
	a2b0				7.7	17.5	0.318
	a0b1				7.9	18.1	0.292
	a1b1				7.8	17.9	0.261
	a2b1				7.8	17.9	0.236
	a0b2				7.9	18.6	0.233
	a1b2				7.9	18.6	0.222
	a2b2				7.8	18.6	0.218
4	a0b0	7.7	18.7	0.398	7.6	19.1	0.353
	a1b0				7.5	19.1	0.351
	a2b0				7.6	19.1	0.347
	a0b1				7.8	19.4	0.381
	a1b1				7.9	19.1	0.375
	a2b1				7.9	19.1	0.328

	a0b2				8.1	18.6	0.337
	a1b2				8.2	18.7	0.282
	a2b2				8.2	18.6	0.275

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 5. Análisis de varianza de los factores concentración y velocidad de mezclado considerando las réplicas en los tratamientos de oxidación propuestos

Resumen	b0= 100 rpm	b1= 200 rpm	b2= 300 rpm	Total
<i>a0= 500 mg/L</i>				
Réplica	4	4	4	12
Suma	1.186	1.196	1.142	3.524
Promedio	0.2965	0.299	0.2855	0.29366667
Varianza	0.00682967	0.00953267	0.00673367	0.00633642
<i>a1= 1000 mg/L</i>				
Réplica	4	4	4	12
Suma	1.164	1.177	1.054	3.395
Promedio	0.291	0.29425	0.2635	0.28291667
Varianza	0.004074	0.00623158	0.004937	0.00436463
<i>a2= 1500 mg/L</i>				
Réplica	4	4	4	12
Suma	1.146	1.098	1.005	3.249
Promedio	0.2865	0.2745	0.25125	0.27075
Varianza	0.003755	0.00475233	0.00365425	0.00355039
<i>Total</i>				
Réplicas	12	12	12	
Suma	3.496	3.471	3.201	
Promedio	0.29133333	0.28925	0.26675	
Varianza	0.00401606	0.0057182	0.00439857	

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 6. Resultados de los tratamientos variando la concentración del coagulante y velocidad de mezclado de la prueba de jarras por semana

Concentración del coagulante (mg/L)	Velocidad de mezclado (rpm)											
	S1			S2			S3			S4		
	V1 100	V2 200	V3 300	V1 100	V2 200	V3 300	V1 100	V2 200	V3 300	V1 100	V2 200	V3 300
C1 (50)	0.086	0.091	0.1	0.149	0.148	0.159	0.128	0.239	0.1	0.165	0.174	0.206
C2 (100)	0.058	0.067	0.057	0.079	0.095	0.123	0.074	0.186	0.06	0.083	0.111	0.144
C3 (150)	0.03	0.043	0.036	0.049	0.071	0.043	0.043	0.065	0.049	0.06	0.07	0.07

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 7. Resultados del registro inicial y final de parámetros de control para el tratamiento con el coagulante por cada semana

Semana	Tratamiento	Inicial			Final		
		pH	Temperatura (°C)	Sulfuros (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Sulfuros (mg/L)
1	a0b0	7.5	17.3	0.207	7.8	19.4	0.086
	a1b0				7.7	19.7	0.058
	a2b0				7.5	19.6	0.03
	a0b1				8.3	19.9	0.091
	a1b1				8	19.7	0.067
	a2b1				7.8	19.7	0.043
	a0b2				8.5	20.3	0.1
	a1b2				8.1	20.3	0.057
	a2b2				7.9	20.3	0.026
2	a0b0	7.3	18.2	0.38	7.6	18	0.149
	a1b0				7.5	18	0.079
	a2b0				7.5	18	0.049
	a0b1				8.1	18.4	0.148
	a1b1				7.9	18.4	0.095
	a2b1				7.8	18.3	0.071
	a0b2				8.4	19.1	0.159
	a1b2				8.2	19.1	0.113
	a2b2				8.1	19.1	0.033
3	a0b0	7.6	18.2	0.356	7.6	17.2	0.128
	a1b0				7.6	17.2	0.084
	a2b0				7.6	17.3	0.043
	a0b1				7.9	18.5	0.239
	a1b1				7.9	18.5	0.186
	a2b1				7.9	18.2	0.065
	a0b2				8	18.3	0.1
	a1b2				7.9	18.4	0.05
	a2b2				7.9	18.5	0.029
4	a0b0	7.7	18.7	0.398	7.7	19	0.165
	a1b0				7.6	19	0.103
	a2b0				7.5	19.2	0.08
	a0b1				7.9	19.8	0.174
	a1b1				7.8	19.4	0.111
	a2b1				7.7	19.2	0.07
	a0b2				7.9	19.4	0.206
	a1b2				8.1	18.9	0.094

	a2b2			8.1	18.9	0.053
--	------	--	--	-----	------	-------

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 8. Análisis de varianza de los factores concentración y velocidad de mezclado considerando las réplicas en los tratamientos de coagulación propuestos

Resumen	b0= 100 rpm	b1= 200 rpm	b2= 300 rpm	Total
<i>a0= 50 mg/L</i>				
Réplica	4	4	4	12
Suma	0.528	0.652	0.565	1.745
Promedio	0.132	0.163	0.14125	0.14541667
Varianza	0.00117	0.00376867	0.00263692	0.00225027
<i>a1= 100 mg/L</i>				
Réplica	4	4	4	12
Suma	0.324	0.459	0.314	1.097
Promedio	0.081	0.11475	0.0785	0.09141667
Varianza	0.000342	0.00258692	0.00090167	0.00134281
<i>a2= 150 mg/L</i>				
Réplica	4	4	4	12
Suma	0.212	0.249	0.141	0.602
Promedio	0.053	0.06225	0.03525	0.05016667
Varianza	0.00042467	0.00017158	0.00014825	0.00033997
<i>Total</i>				
Réplica	12	12	12	
Suma	1.064	1.36	1.02	
Promedio	0.08866667	0.11333333	0.085	
Varianza	0.00169497	0.00362679	0.00307145	

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 9. Datos necesarios para la aplicación de la prueba de Tukey en los tratamientos de coagulación

Factores para la comparación					
Tukey	4.72	n	4	CME	0.00135
Alfa	0.05	r	27	q	0.086714

Elaborado por: La investigadora.

Tabla 10. Costos aproximados a nivel experimental de la ejecución de cada una de las metodologías

Método	Tratamientos	Datos relevantes de la metodología		
		% Remoción	Detalle de materiales	Costos \$
Aeración	a0b1	12	Bomba de pecera, contenedor, envases para muestras	18.00
AOP	a2b2	33	H ₂ O ₂ (5ml/l), jeringas, contenedor, envases para muestras	7.00
Coagulación	a2b2	91	PAC (15ml/l), jeringas, contenedor, envases para muestras	8.00

Elaborado por: La investigadora.

5.4.2. Bomba de agua empleada para la simulación



Figura 1. Bomba para agua SOBO WP1250-120 V-10W

5.4.3. Prueba de jarras para identificar la dosis adecuada del químico



Figura 2. Prueba de jarras (HACH) para la aplicación del oxidante a diferentes concentraciones

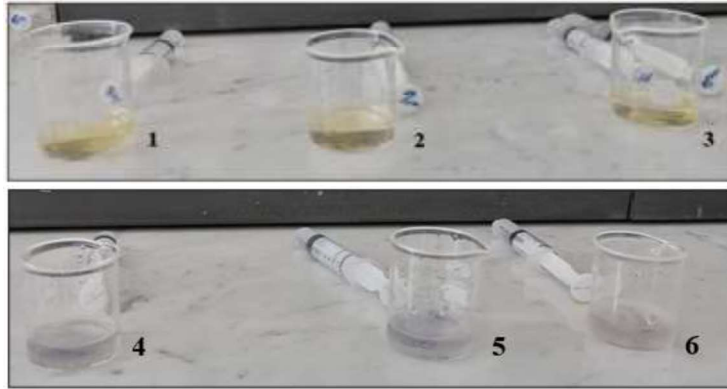


Figura 3. Comparación de las reacciones tras la aplicación del reactivo para identificar sulfuros luego de los tratamientos de coagulación y oxidación

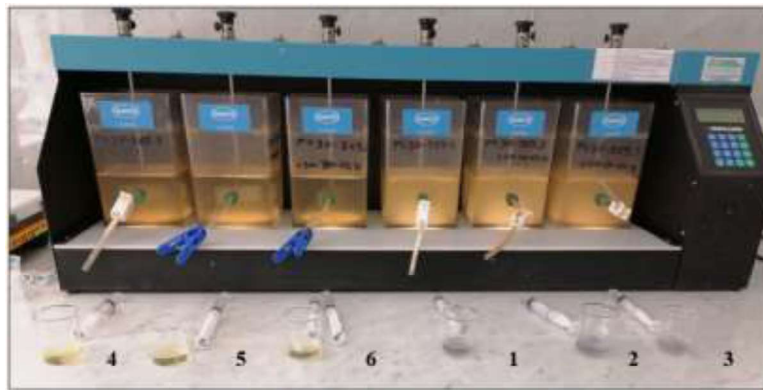

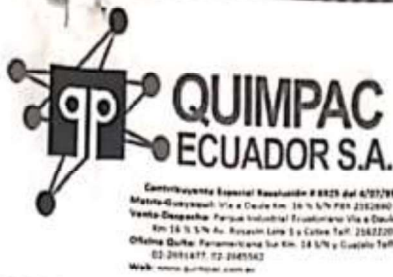


Figura 4. Prueba de jarras (HACH) para la aplicación del coagulante a diferentes concentraciones

5.4.4. Documentos de respaldo de los materiales y análisis realizados

		CERTIFICADO DE ANALISIS Peróxidos do Brasil Ltda.	
Ciente SOLVESA ECUADOR SA VIA A DAULE AV. CASUARINAS #100 Y KM 9.5 090150 GUAYAQUIL ECUADOR		Destinatario certificado SOLVESA ECUADOR SA VIA A DAULE AV. CASUARINAS #100 Y KM 9.5 090150 GUAYAQUIL ECUADOR	
Transporte	4109785619	Lote	1222819233
Albarán	72088019 900001	Pedido	5250234 000060
Fecha de envío	27.08.2019	Ref. Cliente	OC ES273/19
Embalaje	684 Jerricón(es)	Identificador transporte	RIO BARROW 936
Nota Fiscal	000119688		
H2O2 INTEROX® 50-10			
Lote 1222819233	/ Cantidad	23.940,000 kg	
Características	Unidades	Valor	Especificación
Aspecto	-	Líquido incoloro	-
Contenido en peróxido	% m/m	50,3	50,0 -
Color Apha	HAZEN/APHA	8	- 15
Fecha de producción	-	16.08.2019	
Fe.caducid.,fe.prefer.consumo	-	15.08.2020	
Acidez	Máximo 5,0	Potenciometría	mEq/L Máximo
5,0			mg/kg Máximo
Nitratos	Máximo 250	Cromatografía Iónica	mg/kg Máximo
250			mg/kg Máximo
Fosfatos	Máximo 400	Cromatografía Iónica	mg/kg Máximo
400			
Hierro	Máximo 0,5	ICP-OES	mg/kg ND 0,2
0,5			ND 0,2
Metales pesados			
ICP-OES			
Notas: 1) Especificación para Apariencia = líquido incoloro 2) Metal pesado = Arsénico, Plomo, Cobre, Estaño e Niquel. 3) Registro de resultado igual a la especificación comercial indica parámetro evaluado por control del proceso. 4) ND = No detectable en el límite 5) Valor de la densidad é obtenido convirtiendo lo resultado de la concentración del H2O2 en %p. Ref: MA0107 d4/20 = 1,20 g/cm3 Laboratorio de Control de Calidad Responsable: Eda Maria Favretto CRO - 9ª Región - 09200250 Documento emitido por Sistema de Computación Prescinde de signatura			
Contenedor(es)	UACU3984658		
Pagina 1 / 1			



R.U.C.: 0990344760001

GUIA DE REMISIÓN

N°: 005-101-000057056

N° DE AUTORIZACIÓN:

0504202106099034476000120051010000570560057050611

Fecha y hora de Autorización: 05/04/2021 07:41:05

Ambiente: PRODUCCIÓN

Emisión: NORMAL

CLAVE DE ACCESO



0504202106099034476000120051010000570560057050611

QUIMPAC ECUADOR S.A QUIMPACSA

QUIMPAC ECUADOR S.A.

Direc. Matriz: AV. ROSAVIN LOTE 1 Y CALLE COBRE - KM 16.5 VIA DAULE

Nro Contribuyente Especial: 6925

Lleva Contabilidad: SI

RUC/CI(Transportista)	0501918843	Placa:	PCH-9457
Razón Social:	MOSQUERA SANCHEZ DARWIN RAUL		
Punto de Partida:	PANASUR KM 14 PANAMERICANA SUR LOTE 180 Y GUAJALO		
Fecha inicio transporte:	05/04/2021	Fecha fin transporte:	05/04/2021

Comprobante de Venta:	N° doc:
Número de Autorización:	Fecha de Emisión:

Motivo Traslado:	Entrega Nac: EC20
Destino(Punto de llegada):	PLANTA TILULUM ANTIGUA VIA GUARANDA CAMINO PASA SAN FERNANDO ; Ciudad-pais: AMBATO -
RUC/CI (Destinatario):	1885030070001
Razón Social/Nombres Apellidos:	EP EMAPA AMBATO
Documento Aduanero:	
Código Establecimiento Destino:	Ruta: Ruta Quito - Ambato

Código	Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Tipo de empaque
4021445	Policloruro de Aluminio - Quimpac 2500	1.250.000	Kilogramo	IBC
6001551	IBC-Embase sistema	1.000	Unidad	IBC

1 X 1250

Información Adicional

Doc. SAP	0200256101
Pedido	210216880
Fecha Entrega	05/04/2021
Cod. Cliente	54951
Lote	

10 11/10 05-04-2021 Recibido A. Tirado legu

QUIMPAC ECUADOR S.A. QUIMPACSA



Certified to NSF/ANSI/CAN 60

CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD

PRODUCTO: POLICLORURO DE ALUMINIO
 PAC
 QUIMPAC 2500
 POLYALUMINUM CHLORIDE
CLIENTE: EP EMAPAA
LOTE: T4/190421/1300
FECHA DE DESPACHO: 20 DE ABRIL DEL 2021
FECHA DE PRODUCCION: 07 DE ABRIL DEL 2021
FECHA DE CADUCIDAD: 07 DE ABRIL DEL 2022

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

PARÁMETROS	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS
Densidad a 20°C	1.38	1.330 a 1.400 Kg/L	AWWA B408-18
Alúmina soluble total expresada como Al ₂ O ₃ %	17.42	minimo 17 %	AWWA B408-18
Basicidad expresada como Al ₂ O ₃ %	43.95	43 +/-5 %	AWWA B408-18
Cloruros	21.00	max 21 %	APHA 4500 Cl B
Turbiedad	5.72	<50 NTU	---
Ph en solución 1 % v/v	4.15	3.7 a 4.20	AWWA B408-18
Viscosidad	32.4	25 a 45 mPas a 25°C	
Sulfatos	0.02	< 0.1%	
Color	CUMPLE	característico	AWWA B408-18

DOSIFICACION MAXIMA USO (MUL) 250 mg/L

Cantidad Entregada:
 #Spindle: 01
 Temperatura: 25 °C
 Torque: 16.3%
 RPM: 30

Steve Hendeta

Planta Tratamiento de aguas Guayaquil

QUIMPAC ECUADOR S.A

*19 entregado
 Sta. Mercedes
 April 20*

VÍA DAULE KM 16.5, AV ROSAVIN S/N Y CALLE COBRE, GUAYAQUIL - ECUADOR



INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

17025-RG-CC-71-10



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES	
CLIENTE:	PAOLA CRISTINA PÉREZ FERNÁNDEZ	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	21050631
DIRECCIÓN:	Paseo Victoriano Salvador y Arturo Borja	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	2021-05-12; 08h30min
PERSONA DE CONTACTO:	PAOLA CRISTINA PÉREZ FERNÁNDEZ	FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:	2021-05-12
TELÉFONO DE CONTACTO:	0995804897	FECHA DE FIN DE ANÁLISIS:	2021-05-18
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	PTAR Mollapamba	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	2021-05-20
LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:	Tanque antes de la descarga	CONDICIONES AMBIENTALES:	
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	2021-05-12; 07h20min	Humedad (%):	49
TIPO DE TOMA DE MUESTRA:	Puntual	Temperatura (°C):	19,7
(Puntual/compuesta)			
TIPO DE MUESTRA (MATRIZ):	Agua Residual		
RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	Paola Pérez		

ANÁLISIS REALIZADOS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE, TULSMA, LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)**	RESULTADOS
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	mg/L	Standard Methods-5210-D	100	118
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/L	HACH 8000	200	258

* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.

** Los límites permisibles de la Norma de referencia descrita en el presente informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.

PARÁMETRO ACREDITADO	RANGO DE ACREDITACIÓN	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL MÉTODO	MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO
Demanda Bioquímica de oxígeno DBO ₅	(50 a 1500) mg/L	12%	17025-PR-CC-27-XX; Método de referencia: Standard Methods, Ed. 23, 2017:5210-D.
DQO	(20 a 25000) mg/L	17%	17025-PR-CC-28-XX; Método de referencia: HACH 8000

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ. NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GAR 04) NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO.

OBSERVACIONES: Ninguna

PROFESIONALES RESPONSABLES:



Firmado electrónicamente por:
VERONICA SORAYA
CASHABAMBA
PADILLA

Ing. Verónica Cashabamba P.
ANALISTA DE LABORATORIO



Firmado electrónicamente por:
JACQUELINE DEL
ROCIO AVILA
JACOME

Ing. Jacqueline Avila J.
RESPONSABLE TÉCNICO



www.emapa.gob.ec

Matriz: Antonio Clavijo e Isaías Sánchez
Telf.: (03) 299-7700 / Ext: 701 - 702
Ambato - Ecuador

Laboratorio de Control de Calidad, EP - EMAPA - A, Vía Ecológica a Santa Rosa - Ambato



NOVACHEM DEL ECUADOR
LARCO RIVERA HERWIN ROGER

RUC: 1201527379001

FACTURA N°: 001201 - 000009101

NUMERO DE AUTORIZACIÓN

0904202101120152737900120012010000091010000000118

FECHA: 09/04/2021

AMBIENTE: Produccion

EMISIÓN: Normal

CLAVE DE ACCESO



0904202101120152737900120012010000091010000000118
0904202101120152737900120012010000091010000000118

LARCO RIVERA HERWIN ROGER

MATRIZ: AV REAL AUDIENCIA N66 97 Y DE LOS EUCALIPTOS
TELEFONOS: 3463699 - 3463695

Correo Electronico : contabilidad@novachem.com.ec

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD : SI

RAZÓN SOCIAL/NOMBRES Y APELLIDOS: VICTOR PÉREZ

RUC/CI: 1801423037

FECHA DE EMISIÓN: 09/04/2021

FECHA DE VENCIMIENTO: 09/04/2021

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNITARIO	DESC.	PRECIO TOTAL
181632	SULFURO 1 100ML	1	45.50	0.00	45.50
181732	SULFURO 2 100ML	1	44.25	0.00	44.25
LOGIS	SERVICIO DE LOGISTICA	1	5.00	0.00	5.00

INFORMACIÓN ADICIONAL

Vendedor: ANAHI VELIN

Dirección: AMBATO

Telefono: 0998077166

Forma Pago: OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO USD-106.12

Plazo: 0 DIAS

ORDEN DE COMPRA:

Agente de Retención: Resolución No. NAC-DNCRASC20-00000001

Subtotal 12% :	94.75
Subtotal 0% :	0.00
Descuento :	0.00
Subtotal :	94.75
Subtotal No Imp :	0.00
IVA 12% :	11.37
TOTAL :	106.12

Nota : Esta es una constancia impresa del original electrónico autorizado por el SRI
Consulte su validez en www.sri.gov.ec

Página: 001

UNA VEZ RECIBIDA LA MERCADERÍA, NO SE ACEPTAN CAMBIOS NI DEVOLUCIONES.