

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Análisis de la influencia de los coagulantes sulfato  
de aluminio y cloruro férrico en la remoción de  
turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo,  
2022**

Yenifer Nena Cahuana Carbajal  
Cintya Lizbeth Meza Silva

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Steve Dann Camargo Hinostroza  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 20 de febrero del 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES SULFATO DE ALUMINIO Y CLORURO FÉRRICO EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS DEL RÍO SHULLCAS, HUANCAYO – 2022**", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Yenifer Nena Cahuana Carbajal y Cintya Lizbeth Meza Silva, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17% de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

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

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

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Asesor de tesis


## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Yenifer Nena Cahuana Carbajal, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 78912123, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES SULFATO DE ALUMINIO Y CLORURO FÉRRICO EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS DEL RIO SHULLCAS, HUANCAYO – 2022**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

20 de febrero de 2024.



Yenifer Nena Cahuana Carbajal

DNI. No. 78912128

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Cintya Lizbeth Meza Silva, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 71313233, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES SULFATO DE ALUMINIO Y CLORURO FÉRRICO EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS DEL RIO SHULLCAS, HUANCAYO – 2022**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

20 de febrero de 2024.



---

Cintya Lizbeth Meza Silva

DNI. No.71313233

# ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES SULFATO DE ALUMINIO Y CLORURO FÉRRICO EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS DEL RÍO SHULLCAS, HUANCAYO – 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a>	2%
	Fuente de Internet	
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a>	2%
	Fuente de Internet	
3	<a href="#">Submitted to Universidad Continental</a>	1%
	Trabajo del estudiante	
4	<a href="#">Submitted to Instituto Superior Tecnológico Cruz Roja Ecuatoriana</a>	1%
	Trabajo del estudiante	
5	<a href="#">Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</a>	1%
	Trabajo del estudiante	
6	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a>	1%
	Fuente de Internet	
7	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a>	1%
	Fuente de Internet	

8	<a href="https://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="https://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Fuente de Internet	< 1%
10	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
11	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	< 1%
12	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
13	<a href="https://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a> Fuente de Internet	< 1%
14	<a href="https://pisa.univalle.edu.co">pisa.univalle.edu.co</a> Fuente de Internet	< 1%
15	<a href="#">Submitted to Escuela Politecnica Nacional</a> Trabajo del estudiante	< 1%
16	<a href="https://revistas.unisimon.edu.co">revistas.unisimon.edu.co</a> Fuente de Internet	< 1%
17	<a href="#">Submitted to Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil</a> Trabajo del estudiante	< 1%
18	<a href="#">Submitted to Pontificia Universidad Catolica de Chile</a> Trabajo del estudiante	< 1%

---

19	<a href="http://repositorio.uigv.edu.pe">repositorio.uigv.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1 %
20	<a href="http://www.eumed.net">www.eumed.net</a> Fuente de Internet	< 1 %
21	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	< 1 %
22	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1 %
23	<a href="http://www.jove.com">www.jove.com</a> Fuente de Internet	< 1 %
24	<a href="#">Submitted to Universidad Rey Juan Carlos</a> Trabajo del estudiante	< 1 %
25	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	< 1 %
26	<a href="http://patents.google.com">patents.google.com</a> Fuente de Internet	< 1 %
27	<a href="http://www.abengoabioenergy.com">www.abengoabioenergy.com</a> Fuente de Internet	< 1 %
28	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	< 1 %
29	<a href="#">Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego</a> Trabajo del estudiante	< 1 %
30	<a href="#">Submitted to Michigan State University</a>	

Trabajo del estudiante

< 1 %

---

31 [dspace.esPOCH.edu.ec](https://dspace.esPOCH.edu.ec)

Fuente de Internet

< 1 %

---

32 [de.slideshare.net](https://de.slideshare.net)

Fuente de Internet

< 1 %

---

33 [www.waterymex.org](http://www.waterymex.org)

Fuente de Internet

< 1 %

34 [www.yamathosupply.com](http://www.yamathosupply.com)

Fuente de Internet

< 1 %

35 [glossary.hivatis.org](http://glossary.hivatis.org)

Fuente de Internet

< 1 %

36 [repositorio.unp.edu.pe](http://repositorio.unp.edu.pe)

Fuente de Internet

< 1 %

37 [www.dhr.go.cr](http://www.dhr.go.cr)

Fuente de Internet

< 1 %

38 "Nanocomposites based on poly(caprolactone)-chitosan electrospun nanofibers and metallic oxide nanoparticles. Their potential use to adsorption and photocatalytic degradation of organic contaminants", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2023

Publicación

< 1 %

---

39 [americanae.aacid.es](http://americanae.aacid.es)

Fuente de Internet

< 1 %

---

40 [cia.uagraria.edu.ec](http://cia.uagraria.edu.ec)  
Fuente de Internet

< 1 %

41 [docta.ucm.es](http://docta.ucm.es)  
Fuente de Internet

< 1 %

42 [reformasaltempo.com](http://reformasaltempo.com)  
Fuente de Internet

< 1 %

43 [repositorio.unh.edu.pe](http://repositorio.unh.edu.pe)  
Fuente de Internet

< 1 %

44 [repositorio.utp.edu.pe](http://repositorio.utp.edu.pe)  
Fuente de Internet

< 1 %

---

45 [www.ecuadorencifras.gob.ec](http://www.ecuadorencifras.gob.ec)  
Fuente de Internet

< 1 %

46 [www.msmanuals.com](http://www.msmanuals.com)  
Fuente de Internet

< 1 %

47 [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)  
Fuente de Internet

< 1 %

48 [1library.co](http://1library.co)  
Fuente de Internet

< 1 %

---

49 [fr.slideshare.net](http://fr.slideshare.net)  
Fuente de Internet

< 1 %

50 [prezi.com](http://prezi.com)  
Fuente de Internet

< 1 %

51	<a href="http://repositorio.uisek.edu.ec">repositorio.uisek.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1 %
52	<a href="http://repositorio.ulvr.edu.ec">repositorio.ulvr.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1 %
53	<a href="http://user.manual.wiki">user.manual.wiki</a> Fuente de Internet	< 1 %
54	<a href="http://www.ces-cv.es">www.ces-cv.es</a> Fuente de Internet	< 1 %
55	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1 %
56	<a href="http://www.eclac.cl">www.eclac.cl</a> Fuente de Internet	< 1 %
57	<a href="http://www.fides.gov.ve">www.fides.gov.ve</a> Fuente de Internet	< 1 %
58	<a href="http://www.noticiasser.pe">www.noticiasser.pe</a> Fuente de Internet	< 1 %
59	<a href="http://www.oalib.com">www.oalib.com</a> Fuente de Internet	< 1 %
60	"Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Science and Business Media LLC, 2010 Publicación	< 1 %
61	<a href="http://diposit.ub.edu">diposit.ub.edu</a> Fuente de Internet	< 1 %

62	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	< 1 %
63	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	< 1 %
64	<a href="http://ils.upaep.mx">ils.upaep.mx</a> Fuente de Internet	< 1 %
65	<a href="http://mgimo.ru">mgimo.ru</a> Fuente de Internet	< 1 %
66	<a href="http://news.university.ie.edu">news.university.ie.edu</a> Fuente de Internet	< 1 %
67	<a href="http://portal.aragob.es">portal.aragob.es</a> Fuente de Internet	< 1 %
68	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1 %
69	<a href="http://repositorio.uaustral.edu.pe">repositorio.uaustral.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1 %
70	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec">repositorio.ucsg.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1 %
71	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1 %
72	<a href="http://repositorio.uladech.edu.pe">repositorio.uladech.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1 %
73	<a href="http://repositorio.uprit.edu.pe">repositorio.uprit.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1 %

---

---

74

[worldwidescience.org](http://worldwidescience.org)

Fuente de Internet

< 1%

75

[www.pnuma.org](http://www.pnuma.org)

Fuente de Internet

< 1%

---

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 5 words

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios, por bendecirnos la vida y guiarnos durante esta etapa profesional; además por la fortaleza, salud y bendición que nos brindó en momentos difíciles a lo largo de nuestras vidas.

Gracias a nuestros padres. Por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado, que siempre nos han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos nuestros objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño nos han impulsado siempre a perseguir nuestras metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que nos han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.

“Le agradezco muy profundamente a mi asesor, Mg. Ing. Steve Dann Camargo Hinostroza, por su asesoría, orientación, apoyo y dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía, lo llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional”.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijas, son los mejores padres. A nuestras hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos

# ÍNDICE

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	24
1. Planteamiento y formulación del problema .....	24
2. Problema general .....	27
3. Problemas específicos.....	27
4. Objetivos .....	28
5. Objetivo general.....	28
6. Objetivos específicos .....	28
7. Justificación e importancia .....	28
8. Hipótesis .....	29
9. Operacionalización de variables .....	31
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	33
2.1. Antecedentes de la investigación .....	33
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	33
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	36
2.1.3. Antecedentes regionales y locales .....	36
2.2. Bases teóricas.....	37
2.2.1 Consecuencias de la contaminación de los ríos .....	37
2.2.2 Formas de solucionar la contaminación de los ríos.....	38
2.2.3 Efecto de la contaminación de los ríos .....	39
2.2.4 Fuentes con mayor influencia sobre la contaminación de los ríos .....	40
2.2.5 Algunas anotaciones de la contaminación global de los ríos.....	42
2.2.6 Efectos de la escasez de agua por la contaminación de los ríos .....	43
2.2.7 Problemática del río Shullcas .....	44
2.2.8 Mecanismo de coagulación-floculación de contaminantes presentes en aguas contaminadas.....	45
2.2.9 Cloruro férrico.....	46
2.2.10 Sulfato de aluminio.....	48
2.2.11 Turbiedad del agua .....	49
2.2.12 Prueba de jarras .....	51
2.3. Definición de términos básicos.....	57
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	59
3.1. Método y alcance de la investigación.....	59

3.1.1. Método general .....	59
3.1.2. Tipo de investigación .....	59
3.1.3. Nivel de investigación.....	60
3.2. Diseño de la investigación.....	60
3.3. Población y muestra.....	62
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	62
3.4.1. Técnicas e instrumentos.....	62
3.4.2. Materiales .....	63
3.4.3. Procedimientos.....	63
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
4.1. Presentación de resultados.....	66
4.1.1 Características fisicoquímicas de la muestra de agua del río Shullcas, Huancayo 2022.....	66
4.1.2 Mediciones de turbidez obtenida después de ensayos.....	67
4.2. Resultados de la fracción de remoción de turbidez .....	70
4.3. Análisis de los efectos de los factores y prueba de hipótesis .....	74
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES.....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Factores y dominio experimental para el sulfato de aluminio .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 2. Factores y dominio experimental para el cloruro férrico .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 3. Resultados de medidas experimentales de turbidez de ensayos con sulfato de aluminio .....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 4. Resultados de medidas experimentales de turbidez de ensayos con cloruro férrico .....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 5. Fracción de remoción de turbidez obtenido con el sulfato de aluminio.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 6. Fracción de remoción de turbidez obtenido con el cloruro férrico.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 7. Análisis de varianza para el sulfato de aluminio como coagulante .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 8. Análisis de varianza para el cloruro férrico como coagulante .....</b>	<b>78</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Turbidez final obtenida después de coagulación con sulfato de aluminio.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 2. Turbidez final obtenida después de coagulación con el cloruro férrico.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 3. Fracción de remoción de turbidez para el sulfato de aluminio .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4. Fracción de remoción de turbidez con cloruro férrico .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 5. Diagrama de Pareto para el coagulante sulfato de aluminio. Respuesta fracción de remoción. Alfa = 0.05 .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 6. Gráfica de efectos principales para el coagulante alumbre .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 7. Gráfica de interacciones para el alumbre como coagulante .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 8. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el cloruro férrico. alfa=0.05.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 9. Gráfica de efectos principales. Coagulante cloruro férrico.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 10. Gráfica de interacciones. Coagulante cloruro férrico .....</b>	<b>80</b>

## RESUMEN

Esta investigación se realizó con la finalidad de analizar la influencia de los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo – 2022. Para ello, se recurrió a la observación experimental de procesos de coagulación de coloides y sólidos en suspensión, en muestras de agua tomadas del río indicado, utilizando ambos coagulantes de manera independiente. El plan de experimentos se desarrolló de acuerdo al diseño factorial  $2^2$ , en el que las variables que se manipuló fueron concentración de coagulante y tiempo de sedimentación. Los niveles de concentración de sulfato de aluminio fueron de 143.29ppm y 286ppm. Y, para el cloruro férrico de 166.67 ppm y 333.33 ppm. El tiempo de sedimentación en ambos casos fue de 10 y 30 minutos. La fracción de remoción que se obtuvo con ambos coagulantes, se ubicaron entre 0.669 a 0.686 para el cloruro férrico y, entre 0.673 a 0.738 para el sulfato de aluminio. Después de evaluar los efectos de ambos coagulantes, se concluye que, ejercen un efecto significativo los factores concentración y tiempo de sedimentación. Además, el incremento de la concentración de los coagulantes provoca un

aumento de la fracción de remoción de turbidez. Finalmente, al incrementar el tiempo de sedimentación, con el sulfato de aluminio la fracción de remoción disminuye mientras que con el cloruro férrico incrementa.

Palabras claves: cloruro férrico, sulfato de aluminio, turbidez, remoción, agua

## **ABSTRACT**

This research was carried out with the purpose of analyzing the influence of aluminum sulfate and ferric chloride coagulants in the removal of turbidity in the waters of the Shullcas River, Huancayo - 2022. For this purpose, we resorted to the experimental observation of coagulation processes of colloids and suspended solids in water samples taken from the river, using both coagulants independently. The experimental plan was developed according to factorial design 2<sup>2</sup>, in which the variables manipulated were coagulant concentration and sedimentation time. The aluminum sulfate concentration levels were 143.29ppm and 286ppm. And, for ferric chloride, 166.67 ppm and 333.33 ppm. The sedimentation time in both cases was 10 and 30 minutes. The removal fraction obtained with both coagulants ranged from 0.669 to 0.686 for ferric chloride and from 0.673 to 0.738 for aluminum sulfate. After evaluating the effects of both coagulants, it was concluded that the concentration and sedimentation time factors have a significant effect. In addition, increasing the concentration of the coagulants causes an increase in the turbidity removal fraction. Finally, as the sedimentation time increases, the removal fraction decreases with aluminum sulfate and increases with ferric chloride.

Keywords: ferric chloride, aluminum sulfate, turbidity, removal, water.

## INTRODUCCIÓN

El agua en nuestro medio, de algunos años atrás a la fecha, está pasando a convertirse en un recurso escaso, dado a la mayor demanda de la población. Se sabe que en la ciudad de Huancayo el crecimiento poblacional en las últimas décadas fue notable, y a raíz de ello, además de requerir más agua potable, la contaminación del medioambiente en esta provincia por acción humana, también aumentó. Diversos son los contaminantes que se generan a diario, entre sólidos, líquidos y gaseosos. Entre los cuerpos receptores de esta contaminación se tiene a los ríos y lagunas, áreas superficiales y el aire atmosférico. El río Shullcas, es uno de los cuerpos receptores que a la fecha se encuentra contaminada.

Esta situación alarmante de la contaminación de los recursos hídricos, se agrava por la razón que de no existe un plan adecuado de manejo de los contaminantes que se generan a diario. Este plan en principio debe ser dirigido por las autoridades, y enfocado a la educación ambiental de la población, así como a la prevención y recuperación de estos cuerpos hídricos. Pues luego de la recuperación del líquido, inclusive, pueda servir, según las características, para emplearlo como agua de riego y en el mejor de los casos para agua potable.

Asociado a esta situación de dejadez de las autoridades, también se suma, la poca información técnica y especializada que existe, y que permita evaluar alternativas para lograr la descontaminación de las aguas del río Shullcas y de otros ríos de esta localidad. Dentro de la información bibliográfica especializada se indica y se conoce que, las aguas contaminadas, se pueden descontaminar por dos modos, de

acuerdo a la carga contaminante disuelta y suspendida en este. Los modos de tratamiento son aerobio y anaerobio. El primero de estos tratamientos, es el apropiado aplicarlas para aguas con baja carga contaminante, como el de las aguas residuales de origen doméstico. Pero en todo este proceso se debe realizar varias operaciones, a fin de que tenga éxito el tratamiento. Uno de los tratamientos de acondicionamiento del agua contaminada, es la coagulación de sólidos y de coloides suspendidos dentro del líquido, mediante la adición de sustancias que provocan la precipitación.

Por estas razones, y a fin de contribuir con el conocimiento de alternativas para descontaminar este recurso hídrico, en esta ocasión se realizó la evaluación de dos coagulantes que fueron cloruro férrico y sulfato de aluminio, para remover turbidez de muestras de agua del río Shullcas, todo lo que se ha realizado y se encontró en las pruebas experimentales, se presenta en este informe, estructurado del siguiente modo: En el capítulo I, se describe el planteamiento del estudio que se desarrolló. En el capítulo II, se tiene la teoría básica en el que se fundamenta el estudio. En el capítulo III, se expone la metodología que se aplicó para el logro de los objetivos. En el capítulo IV se presenta los resultados que se obtuvieron y la discusión. Y, en la última parte se tiene las conclusiones y recomendaciones.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

## **1. Planteamiento y formulación del problema**

La cantidad de aguas residuales que se descargan a los cuerpos receptores crecen cada año debido al aumento de la población y también al aumento de la actividad económica y productiva de cada zona, esta es una tendencia mundial, donde el Perú también está sujeto a estos cambios. [1]

La contaminación de los ríos en los últimos 10 años se triplicó, y mostró diferentes componentes que degradan su calidad, por ejemplo: patógenos, materia orgánica, eutrofización, metales pesados, sólidos totales, turbidez y otros.

La contaminación de los cuerpos receptores en Asia es actualmente uno de los problemas no solo de este continente, sino también de los países de Europa, puesto, que de la transferencia de la industria mundial y en particular europea a los países asiáticos, alentada por la política asiática con los bajos precios de tributos y el bajo costo de vida, reflejado en los bajos sueldos a los trabajadores, muchos países de occidente tienen sus industrias en Asia, esto conllevó a que la carga ambiental en Asia creciera de forma exponencial, llegando al punto que este problema de contaminación en esta zona se convirtió en un problema a nivel mundial. [2]

Para evitar la contaminación desmedida, por encima de los niveles de los estándares de calidad ambiental, y reponer sus características físicas y químicas. es necesario que los afluentes

a los ríos sean sometidos a un tratamiento adecuado. El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción, muchas de nuestras poblaciones a nivel nacional, y más en las zonas rurales, se ven obligadas de beber de fuentes cuya calidad es mala y producen enfermedades. [3]

Muchas de las poblaciones que se encuentran cercanas a los ríos toman agua no tratada, y aunque algunas gozan de agua potable, estas no se encuentran totalmente libres de contaminación, en ocasiones pueden ocurrir problemas con dosificación de agentes químicos más usados (sales coagulantes), pues las condiciones climáticas de un lugar en particular producen variaciones en los parámetros iniciales del agua, que en una temporada podría haber estabilidad pero en otras temporadas esta estabilidad puede cambiar, por ejemplo, en la época de veda, la concentración puede ser mayor de los contaminantes, mientras que en la época de lluvia, el caudal aumenta, y con ello, puede disminuir la concentración de los contaminantes pero la cantidad de agua que se tiene que tratar es mayor. [4]

Siendo todo esto un problema de gran preocupación para la salud de la población, en esta investigación se desarrolla un método adicional a los tantos que existen actualmente en el tratamiento de aguas contaminadas, el método que se escogió para la investigación es el de precipitación química, la cual, en la actualidad es un método convencional, puesto que ya es usado de forma masiva en muchos casos de tratamiento de aguas, pero, no se tiene un estudio específico donde se experimenta con

ambos coagulantes para demostrar su eficiencia a diferentes dosis y su efectividad de remoción de contaminantes de las aguas del río Shullcas. [5]

El estudio se realiza no solo para aguas superficiales del río, sino también para la contaminación por parte de la actividad antropogénica de los pobladores e industrias que se encuentran en sus orillas, quienes descargan sus aguas residuales al río sin previo tratamiento, teniendo como resultado una gran cantidad de componentes contaminantes que se encuentran en mezcla en las aguas del río. La finalidad de la investigación es demostrar la influencia de estos coagulantes en la mejora de la calidad del río Shullcas, y para ello se utilizó un parámetro de calidad de las aguas que es muy utilizada para determinar el nivel de contaminación, la turbidez. La turbidez es utilizada como parámetro para determinar en muchos casos de forma indirecta la calidad del agua, determinando que, si se tiene una turbidez elevada, aumenta la posibilidad de que el agua se encuentra contaminada. Este parámetro es recomendado por la OMS [6] en su guía para la calidad del agua potable, tercera edición, menciona que la turbidez se puede utilizar para determinar de forma general la calidad del agua potable. También hay estudios que califican a la turbidez como parámetro base para medir la calidad de las aguas superficiales y residuales. En la presente investigación se tiene en cuenta las limitaciones de la medición de la turbidez, como también, se da énfasis en la utilización de este parámetro de medición para poder demostrar la viabilidad técnica de utilizar coagulantes químicos como un método de tratamiento de las agua el río Shullcas con la finalidad de mejorar

su calidad y poder clarificar sus aguas, también se tomó en cuenta que las aguas del río Shullcas desembocan en las aguas del río Mantaro, las cuales, por los pasivos ambientales y las descargas de aguas residuales domésticas a lo largo de su recorrido contienen gran cantidad de contaminantes, y con la presente investigación se pretende mejorar uno de los afluentes del río Mantaro, sirviendo estos datos como un antecedente de mejora de la calidad de las aguas de los cuerpos hídricos lóticos, y se espera que los datos de esta investigación agreguen información y en conjunto con otros trabajos de investigación en estos temas se pueda mejorar la calidad de los cuerpos receptores lóticos.

## **2. PROBLEMA GENERAL**

- ¿Cómo influyen los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas – Huancayo 2022?

## **3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas del río Shullcas, Huancayo 2022?
- ¿Cuáles son las fracciones de remoción de turbidez que se obtiene con los coagulantes de sulfato de aluminio y cloruro férrico?
- ¿Cuáles son los efectos de la concentración de los coagulantes y el tiempo de sedimentación en la fracción de remoción de turbidez?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Analizar la influencia de los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo – 2022

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir las características fisicoquímicas de las aguas del río Shullcas, Huancayo 2022.
- Determinar la fracción de remoción de turbidez que se obtiene con los coagulantes de sulfato de aluminio y cloruro férrico.
- Evaluar el nivel de significancia del efecto de la concentración de los coagulantes y el tiempo de sedimentación en la fracción de remoción de turbidez.

## **5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El deterioro ambiental, causado por las actividades antropogénicas, pone a la sociedad actual en una situación donde es necesario replantear los procesos de producción, materiales y sustancias utilizadas para la solución de los diferentes problemas ambientales. Una de las preocupaciones ambientales más estudiadas es la contaminación de los recursos hídricos. Entre las técnicas más utilizadas, como parte del tratamiento de aguas residuales, se encuentran la coagulación y floculación. Estos

procesos se realizan con coagulantes químicos o naturales, los cuales son añadidos a las aguas residuales con el fin de desestabilizar partículas coloidales y formar flóculos decantables, las cuales se pueden separar del líquido, disminuyendo los contaminantes.

Dentro de los coagulantes comúnmente utilizados se tienen sustancias químicas como sales de hierro y de aluminio. Cada uno de ellos son empleados de manera independiente en la coagulación desestabilizando cargas de partículas coloidales en solución, o permitiendo anular las fuerzas que las mantienen separadas. Entonces, en función a ello, el proceso de coagulación se verá afectado por diversos factores, en especial por las características y componentes del agua residual.

En río Shullcas en la ciudad de Huancayo es una cuenca, que a la fecha se encuentra muy deteriorada en calidad, dado a los vertimientos de efluentes procedentes de actividades domésticas sin previo tratamiento. Y dada la necesidad de recuperar sus características dentro de los límites permitidos, es justificable e importante realizar investigaciones orientados a ese fin. Por ello, en esta ocasión, este trabajo de investigación se analizará el desempeño que presentan los coagulantes de sulfato de aluminio y cloruro férrico en remover la turbidez de las aguas de esta cuenca, como parte de una alternativa de tratamiento.

## **6. HIPÓTESIS**

**Ho:** Los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico no influyen de manera significativa en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo 2022.

**Ha:** Los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico influyen de manera significativa en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo 2022.

## 7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES		DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	COAGULANTES	Es la sustancia que tiene la capacidad de coagular las sustancias contaminantes del agua residual	Se identifica por las características físicas y químicas que posee la sustancia coagulante	Sulfato de aluminio	g.	Razón
				Cloruro férrico	g.	Razón
	Tiempo de sedimentación	Es el tiempo que tienen las partículas del agua para decantar por efecto de la gravedad	Se identifica por medición en el tiempo después del proceso de mezcla del coagulante	Tiempo	Minutos	Razón

DEPENDIENTE	FRACCIÓN DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ	Es el tanto por ciento que representa la diferencia de turbidez del agua antes y después de la operación de coagulación, respecto de la turbidez al inicio	Se determina calculando la fracción: reducción de turbidez de las muestras de agua antes y después de la operación de coagulación, entre la turbidez inicial	turbidez	NTU	razón
-------------	----------------------------------	--	--	----------	-----	-------

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Los investigadores, [7] realizaron un estudio con el objetivo de evaluar el desempeño del cloruro férrico como coagulante que permita la eliminación de color y la DQO de aguas residuales de melaza. El interés fue de eliminar melanoidinas que contenían estas aguas residuales, antes de realizar el tratamiento biológico aerobio, dado que estas sustancias son difíciles de biodegradar por los microorganismos. Para este fin, se realizaron pruebas de jarras de coagulación. En sus pruebas manipularon la dosis de coagulante y el pH, y las observaciones que realizaron se orientaron principalmente a medir la eficiencia de reducción de DQO y color. Con esto, observaron que, en las mejores condiciones de dosificación y pH, la eficiencia de reducción de DQO y color fueron de 86% y 96% respectivamente. También, lograron conseguir una turbidez residual de 5 NTU. Finalmente, concluyen proponiendo para este tipo de aguas que, la neutralización de cargas y la coprecipitación como mecanismo predominante de coagulación a condiciones óptimas.

En el estudio llevado a cabo por [8] investigaron un modelo de coagulación de micro plásticos (MP) de cloruro de polivinilo (PVC) con un tamaño menor a 50  $\mu\text{m}$  que están presentes en agua potable. Para ello recurrieron a realizar ensayos usando sulfato férrico y sulfato de aluminio de manera independiente como coagulante. En sus pruebas modificaron el tipo y dosis

de coagulante, así como el pH de la mezcla de coagulación, con el fin de observar el efecto sobre la eficiencia de remoción de los MP. Lograron demostrar que, al utilizar el sulfato férrico y de aluminio en diferente dosis, consiguieron que las concentraciones residuales de MP se disminuyan aproximadamente en un 80 %. Con estas condiciones de coagulación optimizadas, lograron eliminar por completo MP con tamaños mayores a 15  $\mu\text{m}$ , y concluyen que aproximadamente el 20 % de la concentración inicial de MP; la gran mayoría con un tamaño menor a 5  $\mu\text{m}$ , es de difícil eliminación, pese a que ensayaron con amplia gama de condiciones de coagulación, lo cual es el límite de eliminación de MP.

De otro lado, los investigadores [9] han sintetizado dos nuevos coagulantes compuestos de cloruro de poli-ferro-titanio-silicato, y llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluarlos para tratar un tipo de agua residual industrial procedente de coquerías. Los compuestos que sintetizaron fueron: el cloruro de poli-ferrictitanio-silicato (PFTSC) y el cloruro de poli-titanio-silicato (PTSC). Para tal efecto, examinaron la estructura y morfología del PFTSC y PTSC que sintetizaron. También, caracterizaron la composición de materia orgánica en las muestras de agua residual de coquerías. Determinaron que el PFTSC eliminó más del 93% de la turbidez del agua residual. Además, en función al carbono orgánico disuelto, demanda química de oxígeno y la absorbancia ultravioleta a 254 nm que poseían las muestras antes y después de las pruebas de coagulación, determinaron

que las disminuciones fueron de 24.1 %, 10.7 % y 10.1%, respectivamente. Todo esto los lleva a concluir que, el PFTSC tiene más capacidad de eliminación de sólidos en suspensión y de materia orgánica y también que, puede aplicarse en la eliminación de compuestos orgánicos tóxicos.

En otra investigación, [10] usaron el quitosano; un polímero natural, como coagulante. El objetivo principal fue evaluar a este polímero para tratar el agua que tenía aluminio residual y polímeros químicos, que causaban problemas en la salud humana. Realizaron ensayos de coagulación de muestras de agua de una presa denominada Keddara, cuya característica principal es que tenía una baja turbidez. Utilizaron como coagulante primario al quitosano y como coagulante secundario al sulfato de aluminio. Con los resultados que consiguieron, demostraron que el quitosano no es tan eficiente como el sulfato de aluminio, al usarlo como coagulante primario. Pero cuando lo utilizaron como agente auxiliar de coagulación, con el sulfato de aluminio, si consiguieron excelentes resultados. Lograron una eliminación de turbidez del 97%, con una dosis de 0.2 mg/l de quitosano después de 45 minutos de sedimentación. También indican que, la contribución del carbono orgánico que hace el quitosano al agua, es insignificante; dado que, su aplicación es en pequeñas dosis. Concluyen afirmando que, el quitosano es aplicable como coagulante natural para el tratamiento de agua potable con los menores riesgos de liberación de carbono orgánico.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Dentro de investigaciones nacionales, se encontró que [11], realizaron prepruebas para evaluar la capacidad de remoción del efluente procedente de un reactor biológico de flujo ascendente en manto de lodos (UASB), instalado en la granja de cerdos de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Con todo ello, determinaron que la mezcla más idónea que deberían usar, fue el amonio cuaternario con cloruro férrico. Además de ello, en su investigación, el objetivo principal fue evaluar su eficiencia de esta mezcla en procesos de coagulación y floculación, que le permita cumplir con los dispositivos legales de aguas de alcantarillado. Para esta evaluación, sometieron a ensayo 09 dosis diferentes y, con sus mediciones ajustaron dosis, tiempos y condiciones de operación, mediante optimización. Con sus resultados, demostraron que la mezcla, reduce de manera notable la DQO, DBO, SST y aceites y grasas. Particularmente, dosificando en 500ml de efluente, 1.875 ml de  $\text{FeCl}_3$  con 0,625 de amonio cuaternario, lograron reducir estos cuatro parámetros de calidad del siguiente modo: 88.76% de DQO, 90.27% de DBO y 98.72% de SST.

### **2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES Y LOCALES**

Dentro de investigaciones locales, [12], utilizaron dosificaciones óptimas de sulfato de aluminio del tipo A para el tratamiento de agua potable con la finalidad de hacer más efectivo el proceso. Se utilizó la metodología de pruebas el

test de jarras para realizar pruebas consecutivas de dosificación del coagulante y observar el proceso de tratamiento, siendo este método el más utilizado para la obtención de resultados in Bach, monitoreando los parámetros de interés como la turbiedad, color, pH y conductividad eléctrica. Se caracterizó las muestras de aguas con los siguientes resultados: turbiedad con un rango 8,2 a 894,2 UNT; color de 13 a 112 UPC; pH de 7,99 a 8,42 y conductividad de 213,52 a 394,84 uS/cm, estos datos varían dependiendo de las precipitaciones del lugar. Se logró reducir la cantidad de componentes residuales en las muestras de aguas después del proceso de tratamiento químico hasta un 96%, de tal forma se demuestra que el sulfato de aluminio es un buen coagulante para el tratamiento de aguas para la potabilización.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS**

Como resultado de la acción humana, el equilibrio en el ecosistema se quiebra, se genera irremediablemente muertes de especies. Dentro de las consecuencias de la contaminación de las aguas tenemos:

- Escasez de agua dulce: Cada año la población crece y necesita de más agua potable para su consumo. Se pronostica que, si no se deja de contaminar los cuerpos hídricos, para el 2060 tendremos una falta del recurso hídrico para consumo, lo que nos obligará a

tratar las aguas residuales que generamos para reutilizarla [13].

Epidemias y enfermedades: La sobresaturación de los cuerpos hídricos, con compuestos químicos, aumentan casos de enfermedades graves del corazón, del intestino, hígado, riñón, sistema musculoesquelético y formas crónicas de enfermedades. Por ejemplo, el número de infestaciones de gusanos ha aumentado significativamente diversos grados de enfermedades como el tifus, cólera y otros que se han llevado una gran cantidad de vidas. También, debido a la gran cantidad de antibióticos que ingresan a los ríos y lagos, surgen nuevas variedades de bacterias resistentes a exposición a medicamentos. Esto hace que sea difícil luchar contra todas estas nuevas enfermedades.

### **2.2.2 FORMAS DE SOLUCIONAR LA CONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS**

El problema de la contaminación de las aguas naturales superficiales ha crecido a escala mundial. La humanidad está tratando de resolver el problema de diferentes maneras, por ejemplo:

Tratamiento mecánico o físico: Este tipo de tratamiento le pertenece al pretratamiento de las aguas residuales, donde, a medida que avanza el flujo, se colocan rejillas que no permiten la entrada al sistema de tratamiento los residuos grandes.

Tratamiento primario, secundario: Que son los tratamientos convencionales de las plantas de aguas, donde se atrapan

primero por gravedad los sólidos suspendidos sedimentables y luego por acción de los microorganismos se transforman los sólidos disueltos en material sedimentable.

Tratamiento especializado: El cual es aplicado en algunas ocasiones dentro de las plantas de tratamiento, en algunos casos son la única solución para el tratamiento de las aguas residuales. De forma convencional es utilizado en el tratamiento primario (si no existe tratamientos posteriores) o como un tratamiento terciario, a través de reactivos químicos que ayudan a neutralizar y aglomerar las partículas disueltas contenidas en el agua residual para luego separarlas por sedimentación. En este tipo de tratamientos se utilizan coagulantes y floculantes, uno de los reactivos más utilizado es el sulfato de aluminio, puesto que este componente ya se viene recomendando desde muchos años con buenos ejemplos en el tratamiento de las aguas residuales como en la potabilización de aguas superficiales [14].

### **2.2.3 EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS**

La escasez de agua potable está relacionada con los efectos del cambio climático, con las actividades humanas que conducen a la reducción de los recursos hídricos debido a la contaminación de los ecosistemas de agua dulce, así como a los efectos de la urbanización y cambio de uso de la tierra.

Según las estadísticas, casi la quinta parte de la población mundial vive en áreas donde hay una grave escasez de agua potable limpia. Además, la cuarta parte de la población vive en

los países en desarrollo que experimentan escasez de agua potable debido a la falta de infraestructura necesaria para su extracción de acuíferos y ríos [15].

Uno de los principales problemas es sin duda la contaminación del agua dulce, que reduce significativamente las reservas disponibles. Esta contaminación se debe a las emisiones y efluentes industriales, la escorrentía, la infiltración de los fertilizantes de los campos agrícolas, así como la penetración del agua salada de las zonas costeras en los acuíferos debido al bombeo de agua subterránea. Estos problemas agravan la posibilidad de obtener una fuente segura de utilización de agua para el consumo humano, dando como resultado, que los ingenieros ambientales, químicos, sanitarios y otros, realicen proyectos para el tratamiento de las aguas de los ríos que se encuentren contaminados, puesto que la demanda cada vez es mayor pero la oferta de agua disminuye de las fuentes que eran siempre tradicionales para su explotación.

#### **2.2.4 FUENTES CON MAYOR INFLUENCIA SOBRE LA CONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS**

Los contaminantes ingresan al agua dulce de varias maneras: como resultado de accidentes, descargas intencionales de residuos, derrames y fugas.

Una de las fuentes que se debería tomar en cuenta son las granjas que ocupan grandes zonas de suelo. Parte del estiércol animal no tratado que cubre el suelo penetra en las fuentes de

agua subterráneas, que a su vez emergen para combinarse con los cuerpos de agua superficiales.

Además, los agricultores contribuyen anualmente, solo en nuestro país, con 2,5 millones de toneladas de nitrógeno, fósforo y potasio, y parte de estos componentes fertilizantes se infiltran hasta llegar a contaminar las aguas. También se agregan al suelo componentes químicos, y algunos se convierten en compuestos persistentes que penetran en las cadenas alimentarias causando problemas no solo ambientales, sino también, problemas a la salud de la población, como por ejemplo los productos químicos agrícolas llamados organoclorados que se vienen produciendo desde los años 1950 [15].

Las escorrentías de las piscigranjas representan una amenaza cada vez mayor para los embalses de agua superficiales, debido al uso generalizado de productos farmacéuticos para combatir las enfermedades de los peces.

La rápida contaminación del agua subterránea de las ciudades se da por el creciente número de pozos contaminados debido a una operación incorrecta.

La silvicultura y el drenaje abierto son fuentes grandes de sustancias que ingresan al agua dulce, como metales pesados. La contaminación atmosférica del agua superficial es particularmente especial. Hay dos tipos de contaminantes: particulados (ceniza, hollín, polvo y gotitas de líquidos) y gas (gas sulfuroso y dióxido de nitrógeno). Todos ellos son producto

de las actividades industriales o agrícolas. Cuando en una gota de lluvia, estos gases de unen con el agua, se forman los ácidos sulfúricos y nitrogenados.

### **2.2.5 ALGUNAS ANOTACIONES DE LA CONTAMINACIÓN GLOBAL DE LOS RÍOS**

Los casos más graves de contaminación están relacionados con el petróleo, y no solo de los ríos sino también de los océanos. También las aguas residuales domésticas en pequeñas cantidades enriquecen el agua y promueven el crecimiento de plantas y peces, pero en grandes cantidades están destruyendo el ecosistema acuático.

Los productos químicos peligrosos que pueden alterar el equilibrio ambiental incluyen metales pesados como cadmio, níquel, arsénico, cobre, plomo, zinc y cromo. Según los cálculos, solo en el océano del norte se arrojan hasta 50 000 toneladas de estos metales cada año [16]. Los pesticidas son aún más alarmantes, como el aldrin, que se acumulan en los tejidos animales. Hasta el momento se desconocen las consecuencias a largo plazo de la exposición de tales productos químicos a la naturaleza como al hombre.

La contaminación afecta a los océanos, pero la contaminación de las aguas costeras es mayor que en el océano abierto, debido a un número mucho mayor de fuentes de contaminación, desde instalaciones industriales costeras hasta el tráfico marítimo pesado.

La acumulación de residuos plásticos se forma en los océanos del mundo por el impacto de las aguas de los ríos que transportan estos componentes desde las ciudades donde no se tratan sus aguas residuales.

#### **2.2.6 EFECTOS DE LA ESCASEZ DE AGUA POR LA CONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS**

La falta de agua limpia obliga a las personas a usar agua de fuentes inseguras para beber, lo que implica mayor riesgo de daños a la salud. El consumo de agua de ríos o lagunas contaminadas hacen que las condiciones de vida de las personas se degraden, ocasionan enfermedades en muchos casos graves y puede llegar hasta la muerte.

Debido a la escasez de agua, existe la práctica de almacenar agua en las viviendas, lo que puede aumentar sustancialmente el riesgo de contaminación y conducir a la creación de condiciones favorables para la reproducción de bacterias dañinas. También un grave problema es la higiene, puesto que las personas no pueden asearse adecuadamente, lavar la ropa y mantener el aseo de sus casas.

Si no se toman medidas, casi 5 mil millones de personas permanecerán sin un tratamiento satisfactorio del agua para el 2030, que corresponde a un 67% de la población mundial [17]

Hoy en día, por cada habitante de la tierra hay alrededor de 750 m<sup>3</sup> por año de agua dulce, para el 2050 esta cantidad

disminuirá hasta 450 m<sup>3</sup>. Hasta el 80% de los países del mundo estarán en una zona, que, según la clasificación de la ONU, pertenecen a la categoría con bajos recursos de agua disponible. Solo en África, para el 2023, cercano a 250 millones de personas estarán en esta situación debido al cambio climático. La escasez de agua en las regiones desérticas y semidesérticas provocarán una intensa migración de las poblaciones de estas regiones. Por ejemplo, la mayor parte de la India ya sufre de falta de agua potable.

### **2.2.7 PROBLEMÁTICA DEL RÍO SHULLCAS**

Las aguas del río Shullcas se generan en las lagunas de Chuspicocha y Lazo Untay ubicadas en el nevado de Huaytapallana y terminan su recorrido en el río Mantaro después de un recorrido de 35,07 kilómetros, el cual atraviesa varios centros poblados, dentro de ellos se encuentra la ciudad de Huancayo. El problema del río Shullcas se refiere de forma particular a la influencia de la actividad humana en sus orillas, teniendo mayor influencia la ciudad de Huancayo, donde se descargan aguas de uso doméstico sin tratamiento al río como también aguas de origen industrial, esta mezcla de efluentes hacen que las aguas del río Shullcas pierdan sus características de cuerpo superficial, convirtiéndose prácticamente en un desagüe municipal hasta llegar a descargar en las aguas del río Mantaro, que también desafortunadamente presenta una contaminación aun mayor por la influencia minera el cual a pesar de los años aún mantienen su impacto sobre sus aguas en forma de pasivos

ambientales. La recuperación de las aguas del río Shullcas, como de otros ríos dentro de nuestro país es necesario, puesto que la disposición del recurso hídrico se hace cada vez menor, y el tratamiento de este recurso podría ser utilizado para algunas actividades humanas como la agricultura, de tal forma, se disminuiría la utilización del agua potable para regar los suelos agrícolas y esta agua potable llegaría a mayor cantidad de personas que tienen el problema de escasez de agua para consumo humano.

#### **2.2.8 MECANISMO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE CONTAMINANTES PRESENTES EN AGUAS CONTAMINADAS**

La coagulación-floculación de las partículas altamente dispersas y coloidales suspendidas que generan contaminación de las aguas incluye tres etapas:

- Desestabilización de partículas contaminantes por la acción de los reactivos químicos.
- Aglomeración de las partículas ya desestabilizadas en el proceso anterior.
- Sedimentación de los flóculos formados por acción de la gravedad.

La desestabilización de las partículas contaminantes es el resultado de la eliminación de las fuerzas de repulsión. La aglomeración se produce bajo las fuerzas de atracción entre las partículas las cuales se dan por la acción del floculante. Y la sedimentación se da cuando las partículas toman un tamaño

adecuado que puede ser separado por acción de la gravedad [18].

Al estudiar el proceso de precipitación química, generalmente se consideran los tres procesos por separado, a pesar de su relación. Una de las razones de esta división es la presencia de un gran material experimental y teórico para cada una de las etapas del proceso. Además, los factores que influyen en la adsorción de polímeros, la floculación de partículas y su deposición no siempre coinciden, lo que también demuestra la utilidad de este enfoque.

La optimización de los parámetros tecnológicos de algún tipo de proceso implica la sistematización de todas las variables que influyen en el proceso, selección de los parámetros de definición, prioridad y sus límites, desarrollo de metodologías y métodos de optimización. Luego se realiza una selección optimizando las condiciones y requisitos específicos, y su implementación se lleva a cabo utilizando métodos matemáticos de procesamiento de resultados. Estos métodos son aplicados para procesos industriales a mayor escala, pero también utilizando estos ejemplos se pueden realizar trabajos de investigación, aplicando criterios matemáticos para estructurar el diseño del experimento, utilizando criterios estadísticos para la comprobación de los resultados.

### **2.2.9 CLORURO FÉRRICO**

La coagulación es uno de los métodos comunes de tratamiento de las aguas contaminadas. La esencia del método de

coagulación son interacciones de sustancias contaminantes de escorrentía con coagulantes minerales. Como coagulantes se utilizan con mayor frecuencia el cloruro férrico que como resultado de la hidrólisis, forma un hidróxido de hierro ligeramente soluble. Las formaciones de este hidróxido son capturadas por impurezas inorgánicas y orgánicas para formar copos sueltos, que se pueden eliminar fácilmente de los desagües que se limpian. Las escamas formadas con un tamaño de 0,5 – 3,0 mm y una densidad de 1001-1100 g/L tienen una superficie muy grande con buena actividad de sorción [19]. En el proceso de su formación y sedimentación en la estructura incluye sustancias suspendidas (lodos, células de bacterias, microorganismos de mayor tamaño, restos de plantas, etc.), las partículas coloidales y la parte de los iones contaminantes que se asocian en la superficie de estas partículas. Alta velocidad de deposición de escamas de hidróxido determina la ventaja del cloruro férrico sobre el sulfato de aluminio. El proceso de deposición de lodos con cloruro férrico fluye más rápido y más profundo, además, el cloruro férrico de forma favorable afecta la descomposición bioquímica de los lodos. La cantidad predominante de cloruro férrico producido a nivel mundial se utiliza para tratamiento de aguas industriales y de aguas residuales municipales. El consumo de cloruro férrico producido es de 30 gramos por metro cúbico de aguas contaminadas. El tratamiento químico de las aguas residuales elimina las impurezas insolubles y solubles hasta un 95%.

El cloruro férrico también se utiliza como catalizador en los procesos de síntesis orgánica, oxidación de betún de petróleo, también puede usarse para la extracción selectiva de componentes individuales de minerales.

Las soluciones acuosas de cloruro férrico tienen propiedades de grabado suave, por lo que se utilizan para el grabado de láminas de cobre y piezas metálicas antes de la galvanoplastia. También el cloruro férrico es bien conocido como aditivo del cemento, ayuda a acelerar el proceso de fraguado y aumenta la resistencia del concreto.

#### **2.2.10 SULFATO DE ALUMINIO**

Son diversas las aplicaciones del sulfato de aluminio, pero este coagulante recibió una atención especial en el campo de la purificación del agua. Es difícil sobreestimar la participación del sulfato de aluminio en los tratamientos de aguas, durante muchos años ya se viene trabajando con este coagulante, mostrando buenos resultados, en la práctica este coagulante se utiliza con mayor frecuencia en el tratamiento de aguas superficiales para la potabilización, en comparación con el cloruro férrico que es más utilizado en el tratamiento de las aguas residuales industriales.

Las partículas coloidales generalmente llevan una carga eléctrica negativa, su diámetro puede ser de 0.0001 a 0.000001 mm. Las partículas contaminantes están rodeadas de doble capa eléctrica (por la atracción de los iones cargados positivamente que se encuentran presentes en el medio

ambiente) por lo tanto, se repelen entre sí, y debido a su baja gravedad específica, no sedimentan [20].

El coagulante (generalmente cargado positivamente) causa compresión de doble capa, y por lo tanto, neutraliza la carga electrostática de la superficie de las partículas. Una agitación rápida es importante en la etapa de mezcla para obtener una dispersión uniforme y aumentar la posibilidad de contacto máximo entre las partículas. Después es necesaria una agitación prolongada para que las partículas coaguladas se aglomeren y cuando ya han aumentado en tamaño y peso comienza la deposición al fondo, gracias a la acción de la gravedad.

El sulfato de aluminio como coagulante es más efectivo en un medio de pH de 4.4 – 6. Pero se usa para purificación en rangos de pH hasta de 9. A veces para aumentar la eficiencia del sulfato de aluminio, en el agua, antes de utilizar el coagulante se agrega ácido sulfúrico, esto es muy practicado para el tratamiento de aguas residuales en industrias. El sulfato de aluminio se puede almacenar como hidratos de cristal llamados también alumbre de aluminio que son de forma granular.

### **2.2.11 TURBIEDAD DEL AGUA**

La turbidez del agua es un indicador organoléptico visual de su seguridad y calidad. Pruebas de laboratorio de varias fuentes como grifos de agua, pozos, ríos, lagos, arroyos muestran el nivel de productos químicos y contaminación biológica solo después de un control analítico escrupuloso. La apariencia

antiestética del agua turbia es visible inmediatamente, por lo tanto, naturalmente causa rechazo entre los consumidores del agua.

La causa de la turbidez del agua en un grado u otro es la presencia en ella de partículas suspendidas finas que no tienen la capacidad de disolución completa. El tamaño estándar de las partículas finas está en el rango de 0.004 – 1 mm [21].

Existe una estrecha relación entre los conceptos de “turbidez” y “transparencia”, cuando mayor sea el primer indicador, menor será el segundo. Elección del indicador depende de la fijación de objetivos de la investigación. Por ejemplo, muchos procesos industriales requieren agua de transparencia impecable y los centros de control de agua vigilan su turbidez.

Como regla general en la composición de las fuentes naturales se encuentran arena, arcilla, limo, algas y microorganismos. Los proveedores activos de suciedad insoluble en aguas residuales, tanto químicas como biológicas, con mayor frecuencia son: las lluvias, las capas de nieve derretidas, las avalanchas y las tormentas. También la actividad antropogénica como la vida en las ciudades, la agricultura, ganadería, zonas de recreamiento, la actividad industrial como la refinación del petróleo, utilización de maquinaria pesada, la minería, el transporte y otros generan material particulado que asientan en los cuerpos de agua.

El parámetro de turbidez es muy utilizado en trabajos de investigación referentes a la calidad de las aguas en estudio.

Este parámetro; siendo uno de los más simples y relativamente sencillos en medir, otorga gran información en un tiempo bastante corto de medición en comparación con otros parámetros que tienen que ser medidos en laboratorio, los cuales, implican mayor inversión económica para su medición y mayor tiempo de espera para obtener el resultado de la muestra de agua. El parámetro de la turbidez muestra de forma indirecta la presencia de sólidos que se encuentran en suspensión en el agua, dentro de ellos pueden encontrarse materia orgánica, sales, tóxicos, residuos de medicamentos, metales pesados y otros componentes residuales más, claro está, que este parámetro de turbidez no puede informar del tipo de componentes residuales del agua y su concentración, pero nos muestra que el agua contiene material suspendido y que dependiendo de la fuente de donde se esté recolectando la muestra, se puede deducir que probables problemas de contaminación contenga ese cuerpo de agua.

La turbidez nos sirve como una primera presentación de la calidad del agua, uno de los métodos muy estudiados a nivel mundial para remover las partículas suspendidas del agua es a través de la utilización de reactivo químicos, lo cuales en la actualidad pueden resolver muchos problemas de contaminación, mostrando buenos resultados de eficiencia de remoción, siendo a su vez económicas y con fácil proceso de implementación.

## **2.2.12 PRUEBA DE JARRAS**

La prueba de Jarras es un procedimiento de laboratorio que se utiliza para simular procesos de coagulación – floculación, a fin de observar el fenómeno y la selección de químicos en dosis adecuadas que permitan obtener un determinado tipo de calidad de agua.

En general, el éxito de procesos de coagulación- floculación dependen de varios factores, tales como: tipo de coagulante empleado, dosis del coagulante, pH final, concentración de alimentación de coagulante, tipo y dosificación de aditivos químicos distintos a los coagulantes primarios, secuencia de adición de productos, tiempos de retraso entre puntos de dosificación, intensidad y duración de la mezcla, tipo de dispositivo de mezcla, gradientes de velocidad aplicados durante la etapa de floculación, tiempo de retención del floculador y geometría del floculador. [22]

Según esto, para evaluar adecuadamente estos factores que intervienen en el proceso, y determinar las condiciones más apropiadas es importante utilizar un procedimiento de pruebas, manteniendo cada parámetro constante.

Un requisito previo para llevar a cabo las pruebas de coagulación – floculación, es un análisis e inspección del agua para identificar las impurezas que más requieren consideración. En muchos casos, color y la turbidez son de bastante interés como criterio a considerar para la depuración; en otros, el fósforo residual, el hierro, microorganismos, etc. En algunos casos, las pruebas se llevan a cabo con agua o aguas

residuales con características desconocidas y, a pesar de ello, el procedimiento sigue siendo esencialmente el mismo.

Se debe tener precaución que, en los procesos de coagulación y floculación, las propiedades y condiciones de operación, no solo requieren un análisis previo y fijación de parámetros de diseño, pues en la práctica, la mayoría de las aguas, especialmente las de fuentes naturales, son estacionalmente variables, por lo que requieren pruebas que permitan considerar la variación de la calidad de aguas, en lugar de un solo conjunto de datos de un tiempo en particular.

El aparato que comúnmente se utiliza para realizar las pruebas de desempeño de coagulación y floculación que ofrece una sustancia como coagulante floculante es el aparato de prueba de jarras, tal como se muestra en la figura 1. El equipo consta esencialmente de un conjunto de agitadores; accionados por un motor, que se ubican sobre vasos de precipitados con capacidad de hasta 1 L. recomiendan por lo general el uso de vasos con capacidades mayores a 600 mL, para evitar derrames por salpicaduras o derrames durante la agitación. Además, cuando el criterio de prueba que se establece es por velocidad de agitación, son preferibles los vasos de precipitados altos de gran capacidad.



**Figura 1.** Imagen de un equipo para prueba de jarras

Los aparatos permiten la modificar la velocidad de rotación de los agitadores mediante un control de velocidad del motor. Otras cualidades que presentan algunos aparatos más equipados son, la incorporación de luces por encima o debajo de los vasos de precipitados, diferentes tipos de agitadores, estantes para tubos de ensayos que contengan los coagulantes y con ello permitir una fácil adición y dosificación de estas sustancias.

Criterios para describir el desempeño del proceso

Antes de realizar las pruebas de coagulación y floculación, es importante determinar el criterio o indicador de eficacia del proceso que más se adecue, interese o conviene para evaluar el desempeño del proceso. El criterio que comúnmente se utiliza es de la turbidez residual en el agua, obtenido después del proceso. En otros casos se utiliza el color, la presencia del hierro, etc. La evaluación del tipo de coagulante, la dosificación

y el pH óptimos utilizando el procedimiento de ensayo de la jarra, o un procedimiento semejante, puede llevarse a cabo sobre la base de una amplia variedad de criterios; la aplicabilidad de cada uno depende del proceso concreto utilizado tras la coagulación. Entre estos se tiene:

- Sedimentación y evaluación de la calidad del sobrenadante después del proceso.
- Filtración a través de un pequeño filtro de lecho granular y evaluación de la calidad del filtrado.
- Determinación del tiempo transcurrido desde la adición de coagulante hasta la primera aparición de un flóculo visible.
- Registro visual o comparación de los flóculos a medida que se forman
- Medición de la densidad de los flóculos.
- Determinación de las concentraciones de volumen de flóculos extrayendo muestras del aparato de ensayo de jarras y contando y dimensionando manualmente las partículas con un microscopio estereoscópico.
- Volumen de flóculos sedimentados
- Concentración residual de coagulante
- Índice de sedimentación utilizando un filtro de membrana de 0,45 y a presión constante
- Capacidad de intercambio catiónico
- Concentración de área superficial
- Conductividad eléctrica

Por otro lado, la mezcla rápida se refiere a la fase del proceso de coagulación-floculación en la que se añaden productos químicos a la corriente que se va a tratar. La función de mezcla rápida no debe considerarse como una mera dispersión eficaz del coagulante. La etapa de mezcla rápida es posiblemente la operación más importante del proceso, ya que es aquí donde se producen las reacciones de desestabilización y donde se forman las partículas de floculación primarias, cuyas características influyen notablemente en la floculación posterior en la cinética de floculación.

La importancia de la eficacia de una instalación de mezcla rápida es evidente si se considera el orden de tiempo de las reacciones de desestabilización: El tiempo de formación de complejos mononucleares, como  $AlOH_2^+$  y  $FeOH_2^+$ , es del orden de  $10^{10}$  s.

Los complejos polinucleares necesitan entre  $10^{-2}$  a 1 s para formarse. El tiempo necesario para la adsorción de estas especies a partículas es del orden de  $10^{-10}$ s. El tiempo necesario para ajustar la estructura de la doble capa es del orden de  $10^{-8}$  s y para una colisión browniana (difusión) del orden de  $10^{-10}$  s. El orden más largo de la escala de tiempo viene dado por Overbeek como el tiempo necesario para el ajuste de la carga en la superficie de las partículas. Este tiempo puede variar desde tan poco como  $10^{-6}$ s hasta  $10^{-4}$ s.

De lo anterior se desprende que, en muchos casos, los tiempos de retención tradicionales de 30 a 60 s durante mezcla rápida son innecesarios y que la eficacia de la floculación puede no mejorar

más allá de tiempos de mezcla rápida de, digamos, 5 s, De hecho, más allá de un determinado tiempo óptimo de mezcla rápida, puede producirse un efecto perjudicial sobre la eficacia de la floculación. Para un agua y un tipo de coagulante determinados, el tiempo de retención óptimo durante la mezcla rápida depende del gradiente de velocidad y de la dosis de coagulante aplicada.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

- Precipitación química: “El proceso de precipitación química es un conjunto de fases unidas entre que tienen como finalidad desestabilizar los sólidos disueltos en el agua para poder aglomerarlos y precipitarlos”. [20]
- Reactivos químicos: Los reactivos químicos utilizados para el tratamiento de aguas son correctores de pH, oxidantes, coagulantes y floculantes, de ellos, dependiendo del tipo de agua son aplicados para el tratamiento y remoción de contaminantes.
- Sedimentación: Este es uno de los procesos de la precipitación química, el cual tiene como fin por acción de la gravedad, en un flujo de agua laminar, decantar las partículas que lograron obtener un peso necesario a través de la floculación.[21]
- Separación de fases: Este es el proceso donde se realiza la separación de las aguas tratadas con los lodos que decantan o flotan en el proceso de decantación o filtración. [19]
- Lodos residuales: Son los sólidos de carácter orgánico o inorgánico que pueden obtenerse de los sólidos

suspendidos o disueltos que se aglomeran durante el proceso de tratamiento y se separan en la etapa de sedimentación.

- **Dosificación:** Es la cantidad de reactivos químicos que se agregan al agua residual en concentraciones específicas para obtener el resultado de tratamiento.
- **Mezcla:** Es la acción de combinar todos los componentes que se encuentran en un líquido para obtener una solución homogénea.
- **Tiempo de retención:** Es el tiempo necesario de espera que se da a cada fase del tratamiento. [14]
- **Coloides:** Son partículas de diámetro entre 1  $\mu\text{m}$  y 1nm, las cuales tienen cargas negativas en la mayoría de los casos y tienden a repelerse. Estas partículas se encuentran en forma disuelta en al agua residual.
- **Desestabilización de partículas:** Este es el proceso en el cual se agrega un reactivo químico coagulante al agua residual donde se encuentran partículas coloidales de carga opuesta, con la finalidad que se neutralicen y se puedan ser aglomerados. [19]

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. MÉTODO GENERAL**

El método general de la investigación es el científico con carácter experimental [23], puesto que se desarrolló un conjunto de procedimientos consecutivos, definidos y lógicos para obtener un resultado representativo. Este método de investigación permitió realizar un proceso de tratamiento de aguas contaminadas del río Shullcas con fases bien definidas para la experimentación, las cuales permiten de forma consecutiva y paulatina ir encontrando los resultados del proceso de tratamiento, lo que llevó al final a un resultado favorable de la investigación, y se pudo demostrar con resultados fiables la remoción de la turbidez de la muestra en estudio.

#### **3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es aplicada [23], puesto que la problemática de las aguas residuales del río Shullcas es una preocupación a nivel poblacional, por el impacto sobre el medio ambiente y la salud de las personas que se encuentran cercanas al río; por ello, la investigación tiene un carácter práctico de aplicación directa de la solución al problema para descontaminar las aguas del río Shullcas y mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por sus aguas contaminadas.

### 3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es el correlacional [23], puesto que se pretende como primer resultado de la investigación obtener datos de la aplicación de los coagulantes y comparar sus eficiencias de remoción de la turbidez.

### 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación tuvo una primera etapa de pre-experimentación donde se pusieron a prueba dos coagulantes para reducir la turbidez: sulfato de aluminio y cloruro férrico, con el fin de establecer niveles de dosificación de ambos para aplicar a la muestra de agua. En la segunda etapa, que comprendió la parte experimental, se aplicó el diseño factorial [23] para realizar ensayos de manera independiente con cada coagulante. Las variables que se modificaron en los ensayos fueron dosis de coagulante y tiempo de sedimentación. Los niveles a los que se realizaron los ensayos se indican en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Factores y dominio experimental para el sulfato de aluminio

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
X1: Dosis de sulfato de aluminio	141.05 ppm	274.97 ppm
X2: Tiempo de sedimentación	10 min.	30 min.

**Tabla 2.** Factores y dominio experimental para el cloruro férrico

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
X1: Dosis de cloruro férrico	163.93 ppm	322.58 ppm
X2: Tiempo de sedimentación	10 min.	30 min.

Para cada coagulante, de acuerdo a estos niveles, el diseño factorial específico aplicado fue el  $2^2$ , con esto se generó el diseño mostrado en la tabla 3

**Tabla 3.** Diseño de experimentos

Factor 1: Dosis de coagulante	Factor 2: Tiempo de sedimentación	RESPUESTA FRACCIÓN DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ		
		I	II	III
X1 (-)	X2 (-)	O1	O2	O3
X1 (-)	X2 (+)	O4	O5	O6
X1 (+)	X2 (-)	O7	O8	O9
X1 (+)	X2 (+)	O10	O11	O12

Donde: O es observación.

De acuerdo a las combinaciones de niveles de los dos factores indicados en esta tabla 3, se obtuvo tres datos de fracción de remoción de turbidez de (O) (en tres repeticiones).

Las observaciones de fracción de remoción de turbidez se calcularon de acuerdo a lo indicado en la tabla de operacionalización de variables, del siguiente modo:

$$\text{fracción de rem. turbidez} = \frac{\text{turbidez removida de la muestra}}{\text{turbidez inicial de la muestra}}$$

$$\text{fracción de rem. turbidez} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}}$$

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población de estudio se centra en las aguas del río Shullcas las cuales presentan signos de contaminación, después de recorrer por la ciudad de Huancayo. El punto de recolección de la muestra de agua del río Shullcas, fue a 200 metros antes de desembocar al río Mantaro, asegurando que la mezcla fuese homogénea y representativa. La cantidad de muestra recolectada es de 10 litros de agua, con esta cantidad se realizaron todos los experimentos de acuerdo con los diseños factoriales para cada coagulante.

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.4.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

La técnica utilizada en la investigación es la observación y medición experimental. Es importante observar y registrar los sucesos que se observan durante la experimentación como

también las mediciones realizadas de turbidez para controlar el proceso y validar la respuesta final.

El instrumento utilizado es la ficha de recolección de datos debido a su facilidad en el registro y manejo de la información recolectada durante la observación y medición de los parámetros de interés del experimento.

### **3.4.2. MATERIALES**

Se utilizaron para la experimentación los siguientes equipos y materiales de campo y laboratorio:

- EPPs para la recolección de la muestra de agua del río Shullcas
- Botellas de plástico de capacidad de 5 litros c/u
- Coagulantes: sulfato de aluminio y cloruro férrico
- Turbidímetro de 0 a 1000 NTU.
- Vasos de precipitación de 500 ml.
- Pipetas de 20 ml.
- Propipetas
- Mezclador magnético con barra magnética
- Cronometro

### **3.4.3. PROCEDIMIENTOS**

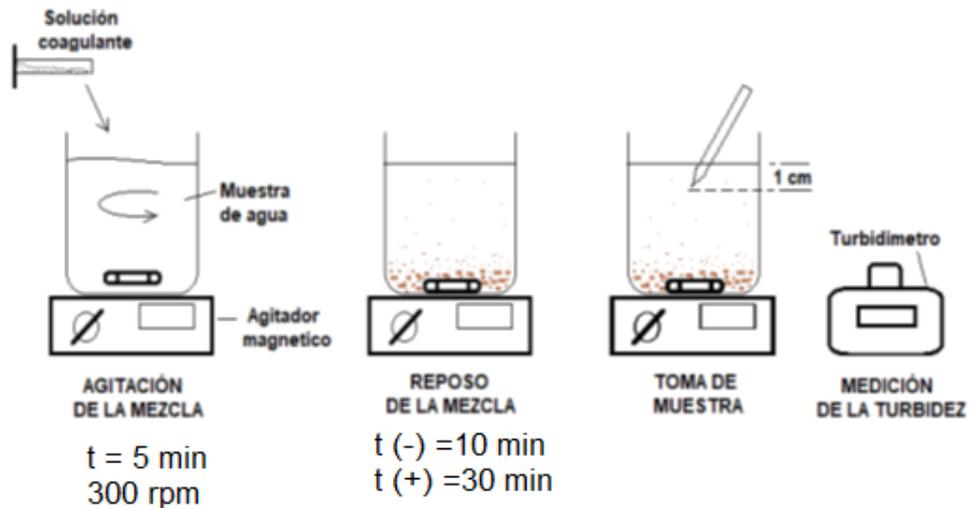
#### **3.4.3.1 ETAPA DE PRE-CAMPO**

Como primera etapa del desarrollo de la investigación se realizó la búsqueda de antecedentes para obtener los niveles de la dosificación de los coagulantes como referencia, luego

se realizaron pre pruebas de laboratorio para comprobar y determinar los datos del nivel menor, entendiendo como la dosis más pequeña con la cual empieza la coagulación y para el nivel mayor se determinó el punto de quiebre de la dosificación donde se observó que con mayor dosificación no se obtenían mejores resultados, sino por el contrario, la formación de flóculos se hacían menos visibles y aumentaba la turbidez.

#### **3.4.3.2 ETAPA DE LABORATORIO**

En la etapa de laboratorio se realizaron todas las pruebas de acuerdo al diseño experimental para cada coagulante. Se utilizó para este propósito vasos de precipitación de 250 mL, en los que se vertió 150 mL de agua de la muestra colectada del río Shullcas. Luego, se colocó el vaso con la muestra en un mezclador magnético y se dosificaron los coagulantes para cada ensayo por separado. Después de cada dosificación, se agitó la mezcla por un tiempo de 5 minutos a una velocidad de 300 rpm, con un agitador magnético. Finalizado este tiempo, se detuvo el agitador para que la mezcla estuviera en reposo, tiempos de sedimentación de 10 minutos y de 30 minutos. Pasado este tiempo, se midió la turbidez del agua. Para tal efecto, se tomó una muestra de 10 mL de líquido sobrenadante, aproximadamente 1cm de profundidad respecto del nivel de líquido, contenida en el vaso de precipitado.



**Figura 2.** Esquema del procedimiento de ensayos experimentales de coagulación.

### 3.4.3.3 ETAPA DE GABINETE

En esta etapa se realizó la evaluación de las mediciones de turbidez que se registraron en las experiencias de coagulación. También se procedió a realizar el cálculo, evaluación y comparación de las fracciones de remoción de turbidez que se alcanzó en cada experiencia. Como se observó en el diseño de los experimentos, con cada coagulante se realizaron 4 experimentos básicos, los que resultaron de la combinación de los niveles de la concentración del coagulante y, el tiempo de sedimentación. Estos resultados permitieron demostrar la hipótesis que se formuló. La verificación de la hipótesis se llevó a cabo mediante el análisis de varianza de acuerdo al diseño de experimentos que se estableció en la tabla 3. También cabe indicar que los resultados, permiten elegir con mayor

seguridad el coagulante que mejor beneficio ofrece para remover la turbidez del agua del río Shullcas.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA DE AGUA DEL RÍO SHULLCAS, HUANCAYO 2022**

Las características fisicoquímicas de las aguas del río Shullcas en Huancayo, se aprecia mediante los parámetros de calidad que tiene una muestra de agua colectada el mes de noviembre del año 2022. Los parámetros de calidad son los siguientes:

**Tabla 4.** Parámetros de calidad de muestra de agua del río Shullcas- noviembre del 2022 (de análisis fisicoquímico mostrado en anexos)

<b>N°</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>MAGNITUD</b>
1	Turbidez	41.12 NTU
2	DQO	678 ppm
4	pH	6.4
5	Aspecto	Turbio con presencia de sólidos de color oscuro

Con estas características, se tiene que, las muestras de agua colectadas, están dentro de la categoría de agua residual doméstica, según la clasificación establecida por [24].

Estas muestras se colectaron en el punto ubicado con coordenadas UTM de 12° 04min 16seg (S) y 75° 73 min 31seg

(W), cuya ubicación geográfica se encuentra a en la intersección del Jirón Catalina Huanca con río Shullcas, en la provincia de Huancayo.

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas del río Shullcas, Huancayo 2022? OK

#### 4.1.2 Mediciones de turbidez obtenida después de ensayos

Luego de realizar las experiencias de coagulación con cada coagulante, los niveles de turbidez que se registraron se muestran en las tablas 5 y 6.

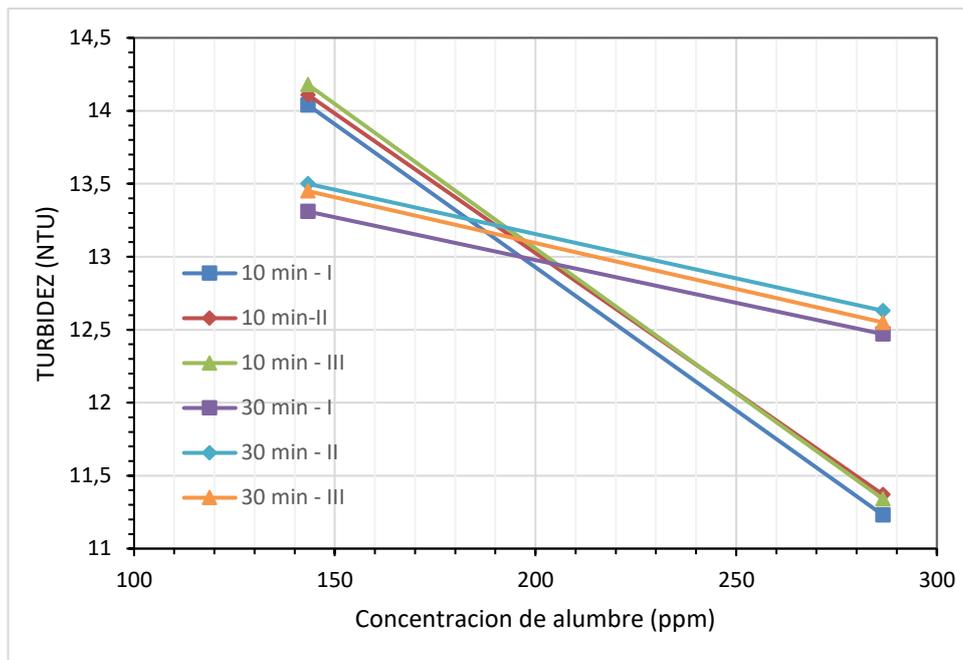
**Con la solución de sulfato de aluminio:**

**Tabla 5. Resultados de medidas experimentales de turbidez de ensayos con sulfato de aluminio**

N°	Concentración de $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ en mezcla experimentadas (ppm)	Tiempo sedimentación (min)	TURBIDEZ FINAL (NTU)		
			REPETICIÓN I	REPETICIÓN II	REPETECIÓN III
1	141.05	10	14.04	14.11	14.18
2	141.05	30	13.31	13.5	13.45
3	274.97	10	11.23	11.37	11.34
4	274.97	30	12.47	12.63	12.55

Para conseguir que el sulfato de aluminio ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ) tenga las concentraciones de 141.05 ppm y 274.97 ppm una vez mezclados con las muestras de 150 mL agua residual contenida en el vaso de precipitado, se adicionó 4 y 8 ml de una solución de alumbre respectivamente. La solución de alumbre fue

preparada con agua destilada a una concentración de 1g/100 mL de agua. El tiempo de agitación al que fue sometido todas las mezclas, una vez adicionado la solución de alumbre, fue de 5 minutos. Y, la velocidad de agitación en todos los casos fue de 300 RPM.



**Figura 3. Turbidez final obtenida después de coagulación con sulfato de aluminio**

En esta figura se aprecia de manera gráfica los resultados que se presentaron en la tabla 3. Según ello, se observa que la menor turbidez que se alcanzó después de coagular con el sulfato de aluminio, fue cuando la concentración de este coagulante en la muestra de agua fue de 274.97 ppm

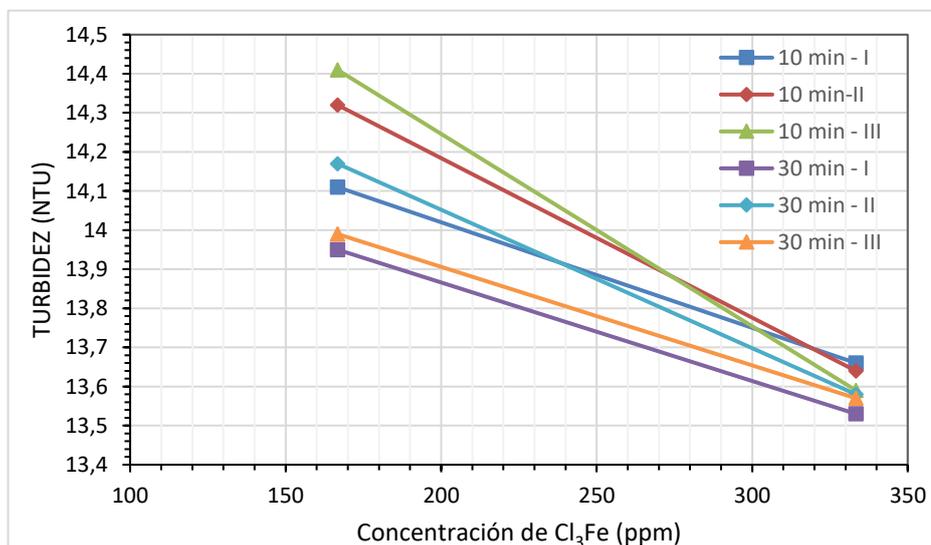
**Con solución de cloruro férrico:**

**Tabla 6. Resultados de medidas experimentales de turbidez de ensayos con cloruro férrico**

N°	Concentración de	Tiempo	TURBIDEZ FINAL (NTU)
----	------------------	--------	----------------------

	Cl <sub>3</sub> Fe en mezcla experimentadas (ppm)	sedimentación (min)	REPETICIÓN I	REPETICIÓN II	REPETICIÓN III
1	163.93	10	14.11	14.32	14.41
2	163.93	30	13.95	14.17	13.99
3	322.58	10	13.66	13.64	13.59
4	322.58	30	13.53	13.58	13.57

De manera semejante, utilizando el cloruro férrico como coagulante, se adicionó 2.5 mL y 5 mL de una solución en agua destilada de este compuesto. Con ello, las concentraciones de cloruro férrico que se alcanzó al adicionarlos en 150 mL de muestra de agua fueron de: 163.93 ppm y 322.58 ppm respectivamente. La solución de cloruro férrico tuvo una concentración de 1g/100mL de agua. El volumen de agua residual, la velocidad y el tiempo de agitación a las que se llevaron a cabo en los ensayos, fueron iguales que los adoptados con la solución de sulfato de aluminio.



**Figura 4. Turbidez final obtenida después de coagulación con el cloruro férrico**

De acuerdo a la figura 2, se observa el mismo comportamiento que se encontró al emplear el alumbre, es decir que, la turbidez

obtenida después de coagulación con este coagulante, son menores a concentraciones de 322.58 ppm que a concentraciones de 163.93 ppm.

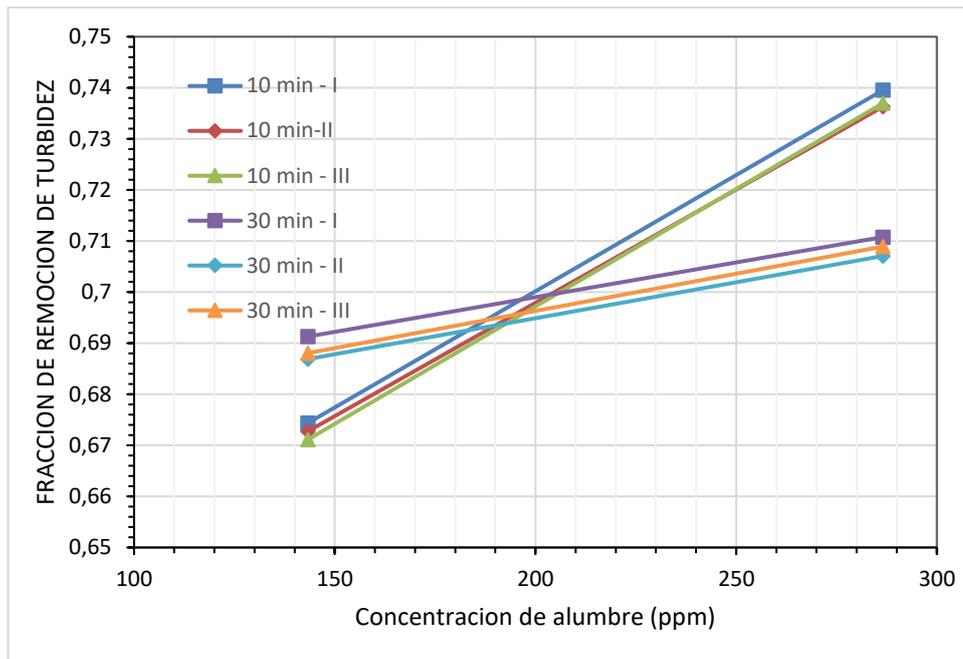
#### 4.2. Resultados de la fracción de remoción de turbidez

Las fracciones de remoción de turbidez que se obtuvieron con cada coagulante se presentan en esta sección. Para ello, se aplicó la expresión matemática de remoción de turbidez a los datos presentados en las tablas 3 y 4. Los resultados se aprecian en la tabla 7 y 8.

**En el caso de la solución de sulfato de aluminio** son los siguientes:

**Tabla 7. Fracción de remoción de turbidez obtenido con el sulfato de aluminio**

N°	Concentración de coagulante (ppm)	Tiempo sedimentación (min)	FRACCIÓN DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ		
			I	II	III
1	141.05	10	0.674371859	0.672748357	0.671124855
2	141.05	30	0.691302667	0.686896019	0.688055663
3	274.97	10	0.739543873	0.736296869	0.736992656
4	274.97	30	0.710784693	0.707073831	0.708929262



**Figura 5. Fracción de remoción de turbidez para el sulfato de aluminio**

De acuerdo a estos resultados, se observa que la mayor remoción de turbidez que se obtiene con el alumbre, es a la concentración de 286.57 ppm y con un tiempo de sedimentación de 10 minutos, por lo que, al usar este tipo de coagulante, con las muestras de agua del río Shullcas, serían los ideales para lograr maximizar la fracción de remoción de turbidez.

- **¿Cuáles son las fracciones de remoción de turbidez que se obtiene con los coagulantes de sulfato de aluminio y cloruro férrico? OK**

**Prueba de normalidad para los datos de fracción de remoción obtenida con el sulfato de aluminio**

Se aplicó la prueba de Shapiro Wilk, dado que el número de datos a cada condición fueron 3 (menor a 50). Esta prueba permite verificar si los datos tienen o no una distribución normal. Para ello se establece dos supuestos:

- $H_0$  = El conjunto de datos de cada condición experimental posee distribución normal.
- $H_1$  = El conjunto de datos de cada condición experimental no posee distribución normal.

**Tabla 8. Prueba de normalidad para datos obtenidos con sulfato de aluminio**

Condición experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
C141.05 T10	1,000	3	1,000
C141.05 T30	,930	3	,490
C274.97 T10	,902	3	,391
C274.97 T30	1,000	3	1,000

En esta tabla, la condición experimental está indicando los niveles de concentración C y el tiempo T al que fue llevado a cabo la operación de coagulación.

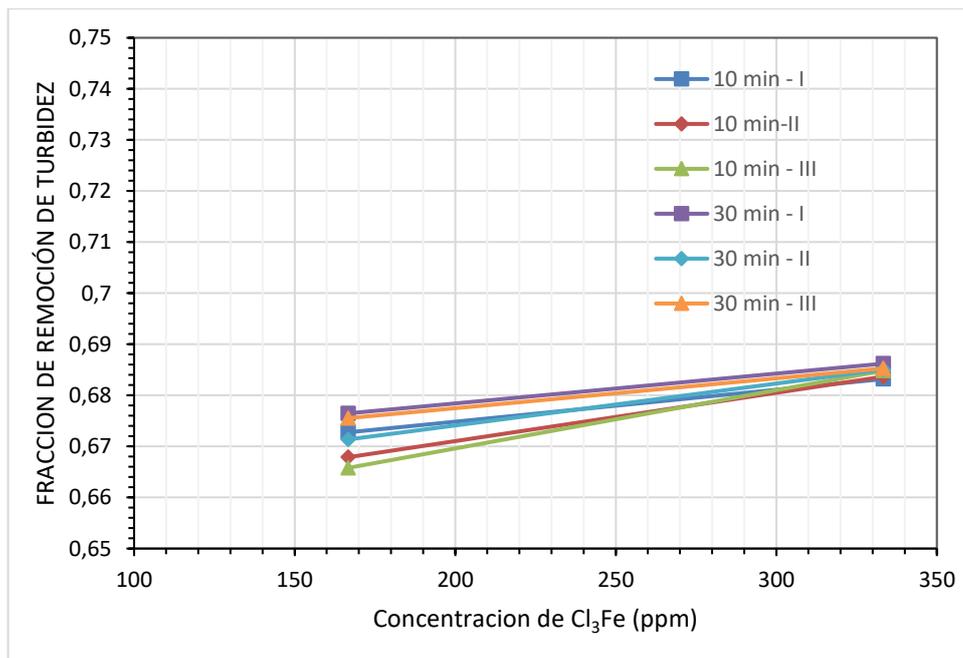
Según los valores de p(sig) se tienen que todos son mayores a 0.05, esto conduce a aceptar el  $H_0$ . Es decir que todos los

conjuntos de datos de fracción de remoción de turbidez tienen una distribución normal.

**Para el caso de la solución de cloruro férrico** son los siguientes:

**Tabla 9. Fracción de remoción de turbidez obtenido con el cloruro férrico**

N°	Concentración de coagulante (ppm)	Tiempo sedimentación (min)	FRACCIÓN DE REMOCION DE TURBIDEZ		
			I	II	III
1	163.93	10	0.672748357	0.667877851	0.665790491
2	163.93	30	0.676459219	0.671356784	0.675531504
3	322.58	10	0.683185157	0.683649014	0.684808659
4	322.58	30	0.686200232	0.685040588	0.685272516



**Figura 6. Fracción de remoción de turbidez con cloruro férrico**

En este caso, se aprecia que la concentración de cloruro férrico a la que se obtiene un máximo de remoción de turbidez, es a 333.33 ppm. Y, en relación al tiempo de sedimentación;

según la gráfica, se puede establecer máximo, con 30 minutos, a pesar que los resultados son próximos.

- **¿Cuáles son las fracciones de remoción de turbidez que se obtiene con los coagulantes de sulfato de aluminio y cloruro férrico? OK**

**Prueba de normalidad para los datos de fracción de remoción obtenida con el cloruro férrico**

Como este caso es semejante a lo que se tuvo con el coagulante anterior, también se aplicó la prueba de Shapiro Wilk, con los supuestos equivalentes.

**Tabla 10. Prueba de normalidad para los datos obtenidos con cloruro férrico**

<b>Condición experimental</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>		
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
C163.93T10	,949	3	,567
C163.93T30	,881	3	,328
C322.58T10	,942	3	,537
C322.58T30	,893	3	,363

Todos los valores de p(sig) son mayores a 0.05, lo que permite concluir que cada conjunto de datos posee una distribución normal.

#### **4.3. Análisis de los efectos de los factores y prueba de hipótesis**

En esta parte se tiene los resúmenes del análisis de varianza, de acuerdo al diseño factorial 2<sup>2</sup> que se propuso. Este análisis

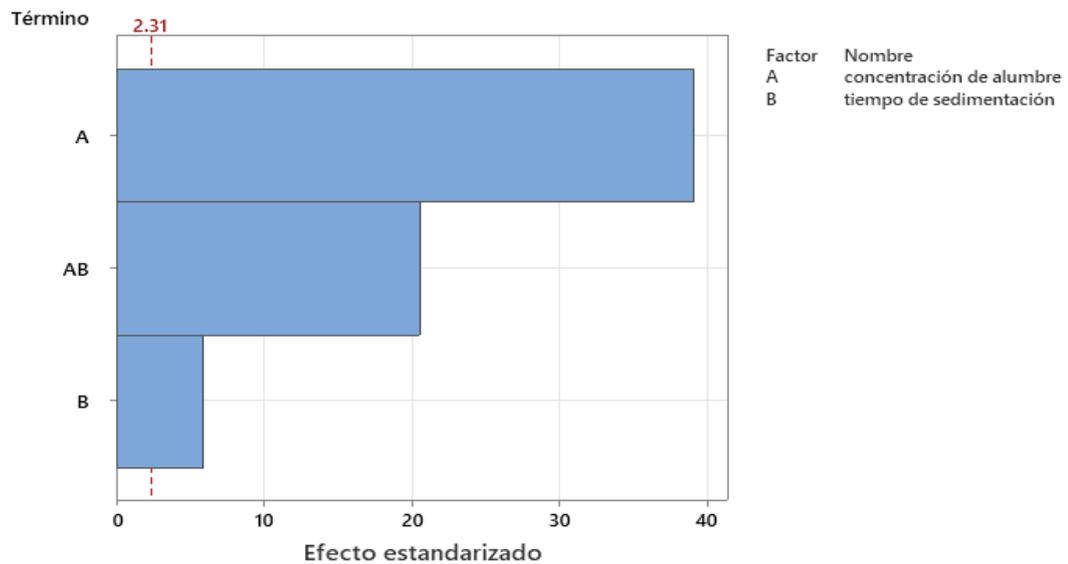
se realizó con los resultados de las tablas 5 y 6 de fracción de remoción para el sulfato de aluminio y cloruro férrico, respectivamente. También, se tiene el análisis de los efectos que ejercen los factores y su interacción en cada caso.

**Tabla 11. Análisis de varianza para el sulfato de aluminio como coagulante**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentración de alumbre	0.00542812	1	0.00542812	1525.85	2.03 E-10	5.318
Tiempo de sedimentación	0.00012066	1	0.00012066	33.92	0.00039	5.318
Interacción	0.00149872	1	0.00149872	421.29	3.32 E-08	5.318
Error	2.846E-05	8	3.5574E-06			
Total	0.00707596	11				

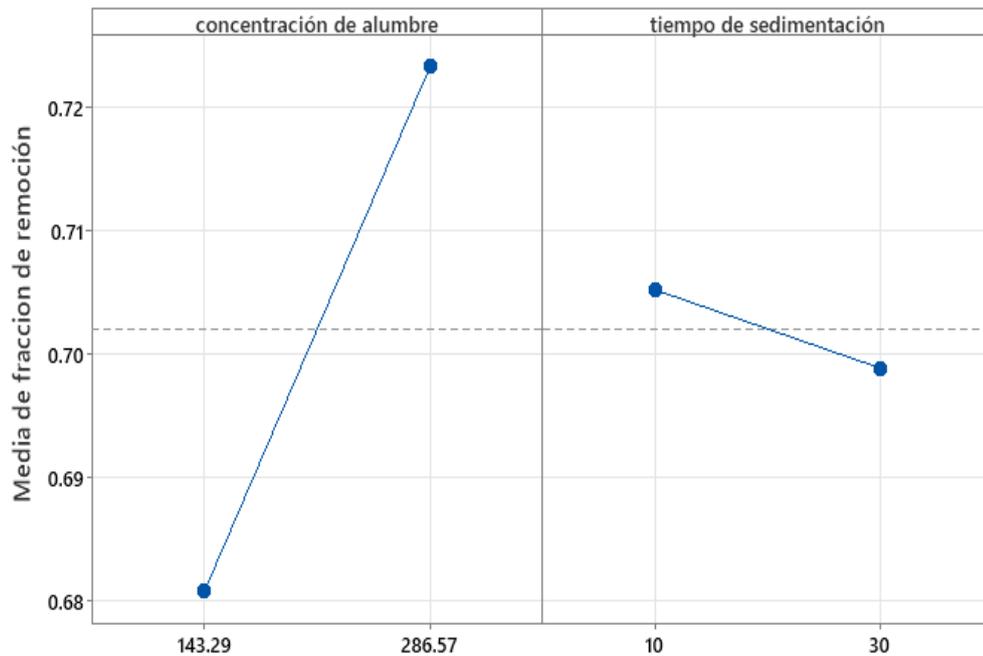
De acuerdo a los valores de F y valor P, y a un nivel de significancia del 5 %, se observa que los dos factores concentración de coagulante y tiempo de sedimentación, así como la interacción de ambos, ejercen efectos significativos sobre la fracción de remoción de turbidez. Esto, a razón de que los valores de F observados con los datos de fracción de remoción de turbidez, son mayores que los valores críticos de F.

- **¿Cuáles son los efectos de la concentración de los coagulantes y el tiempo de sedimentación en la fracción de remoción de turbidez?**

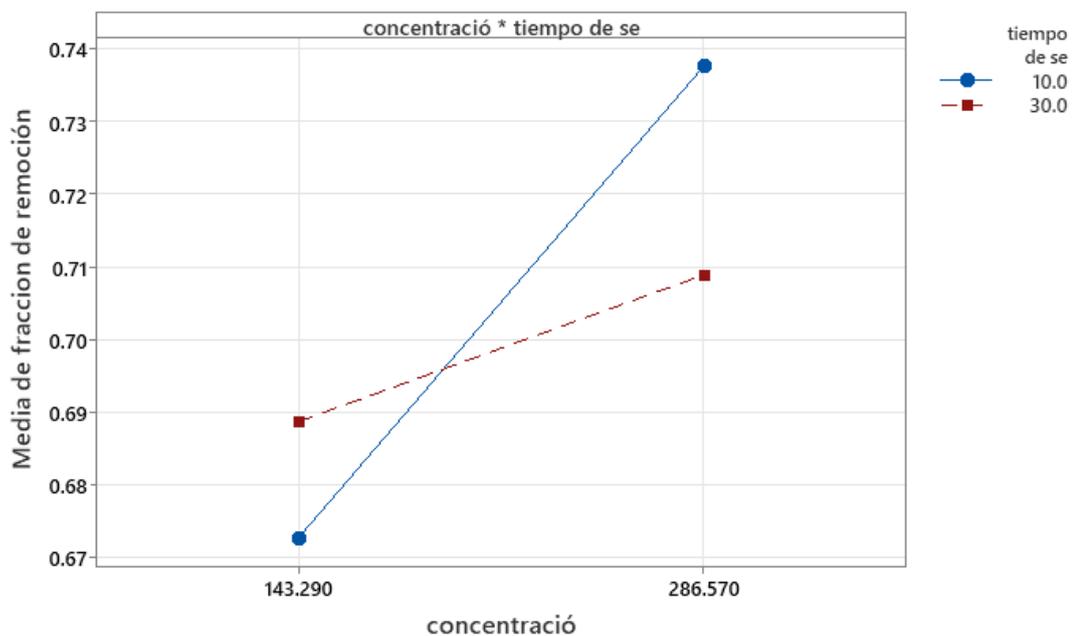


**Figura 7. Diagrama de Pareto para el coagulante sulfato de aluminio. Respuesta fracción de remoción. Alfa = 0.05**

La magnitud de los efectos de los factores y la interacción se puede apreciar en la figura 5. Según esto, ejerce un mayor efecto la concentración de alumbre que la interacción de los dos factores, y este a su vez mayor que el factor tiempo de sedimentación. Además, con esta figura se verifica también que los dos factores principales y la interacción son significativos, pues superan el límite  $Z = 2.31$ .



**Figura 8. Gráfica de efectos principales para el coagulante alumbre**



**Figura 9. Gráfica de interacciones para el alumbre como coagulante**

De acuerdo a la figura 6, se observa que, el efecto que ejerce la concentración de alumbre, sobre la fracción de remoción de turbidez promedio es positiva. Mientras que, en el caso de

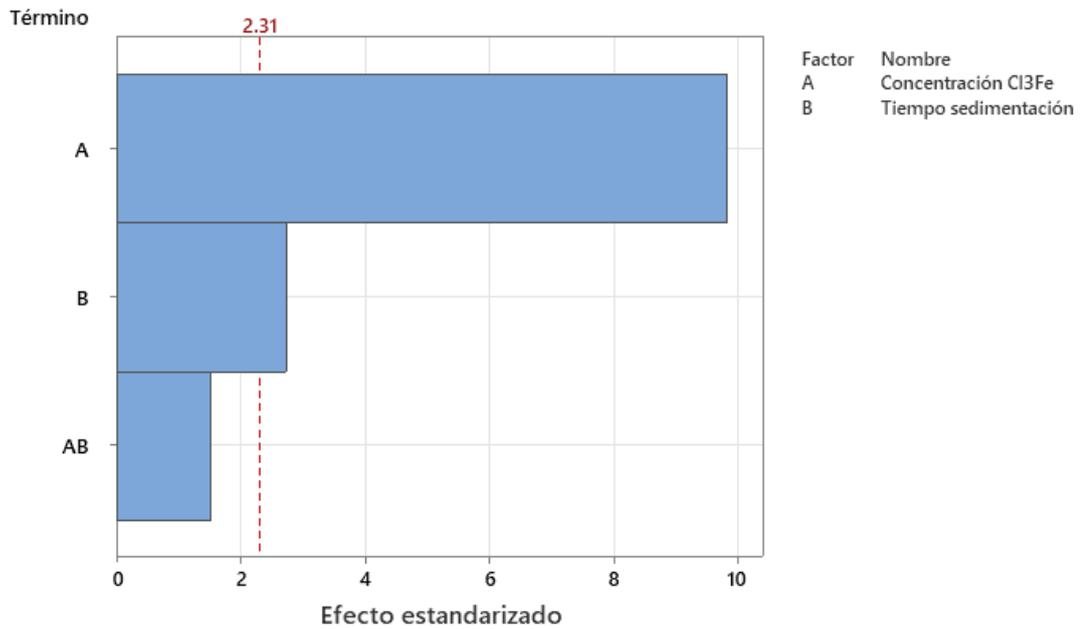
tiempo de sedimentación, es negativa. Con respecto a la interacción de ambos factores, según la figura 7, dado que las líneas no son paralelas, se verifica que el efecto que ejerce es significativo.

**Tabla 12. Análisis de varianza para el cloruro férrico como coagulante**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentración de $Cl_3Fe$	0.0005125	1	0.0005125	96.57	9.67E-06	5.318
Tiempo de sedimentación	3.9639E-05	1	3.9639E-05	7.47	0.026	5.318
Interacción	1.213E-05	1	1.213E-05	2.29	0.169	5.318
Error	4.2456E-05	8	5.307E-06			
Total	0.00060673	11				

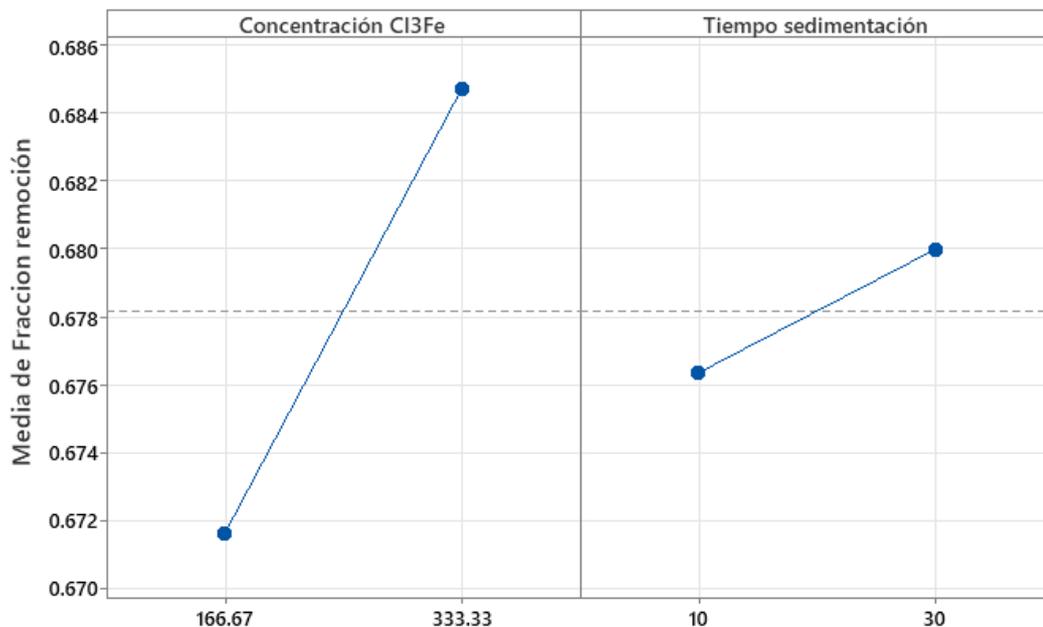
En este caso, a un nivel de significancia de 5%, se tiene que, los factores principales de concentración de cloruro férrico y tiempo de sedimentación, ejercen un efecto significativo, mas no la interacción de ambos.

- **¿Cuáles son los efectos de la concentración de los coagulantes y el tiempo de sedimentación en la fracción de remoción de turbidez? OK**

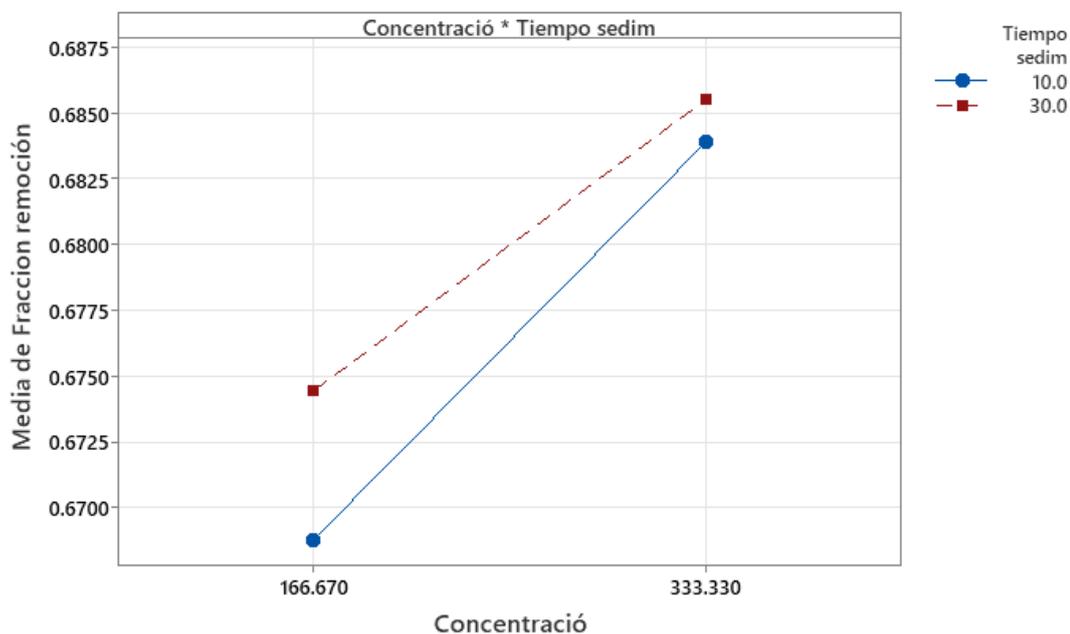


**Figura 10. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el cloruro férrico. alfa=0.05**

En este diagrama de Pareto se aprecia que el factor que ejerce mayor impacto sobre la fracción de remoción es la concentración de cloruro férrico. Le sigue el tiempo de sedimentación. En el caso de la interacción de estos dos factores, se verifica que no es significativo, pues no supera el valor de 2.31.



**Figura 11. Gráfica de efectos principales. Coagulante cloruro férrico**



**Figura 12. Gráfica de interacciones. Coagulante cloruro férrico**

De acuerdo a la figura 9, se observa que los factores principales ejercen un efecto positivo sobre la fracción de remoción. Mientras que la interacción, dado que en la figura 10 se aprecia

que ambas líneas son próximas a ser paralelos, se verifica que su efecto no es significativo.

## **CONCLUSIONES**

- Se analizó la influencia de los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas y, se concluye que, tanto la concentración de cada coagulante y el tiempo de sedimentación, influyen de manera significativa en la fracción de turbidez removida. En el caso del sulfato de aluminio, la interacción de ambos factores también influye, mientras que, en el caso del cloruro férrico, no.
- Se determinó las características fisicoquímicas de las muestras de aguas del río Shullcas, Huancayo 2022, que fueron tomadas en el lugar cuyas coordenadas son  $12^{\circ}04'16.4''S$   $75^{\circ}13'31.4''W$ . Y, por sus características, se concluye que corresponden a un tipo de aguas residuales domésticas
- Se determinó la fracción de remoción de turbidez que se obtiene con el alumbre y cloruro férrico. Y se encontró que, las fracciones de remoción fueron en promedio mínimo de 0.673 y máximo de 0.738 para el sulfato de aluminio, mientras que, para el cloruro férrico, en promedio mínimo de 0.664 y máximo de 0.686.
- Se evaluó el efecto de la concentración de ambos coagulantes, se concluye que, un incremento de este factor, provoca un aumento de la fracción de remoción. También, se evaluó el efecto que provoca el incremento del tiempo de sedimentación, estableciéndose que, en el caso del sulfato de

aluminio, al incrementar este factor, la fracción de remoción disminuye y, con el cloruro férrico aumenta.

## **RECOMENDACIONES**

En próximas investigaciones se recomienda:

- Desarrollar pruebas de coagulación de muestras de agua del río Shullcas tomadas en diferentes puntos, dentro de la trayectoria o recorrido que tiene, con la finalidad de determinar el perfil de requerimiento de estos coagulantes y otros que existen en el mercado.
- Llevar a cabo pruebas piloto para reducir la turbidez del agua, a fin de determinar los requerimientos de energía, insumos y estrategias técnicas para el control de toda la operación. Así como también, para evaluar las condiciones que ofrece el agua resultante, para someterlo a tratamiento biológico y/o avanzado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *El tratamiento de aguas residuales en el Perú aumentó en 11 %, entre el 2016 y el 2020* [online]. [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>
- [2] *La mala calidad del agua pone en peligro la salud de los ciudadanos europeos | Euronews* [online]. [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://es.euronews.com/2022/02/25/la-mala-calidad-del-agua-pone-en-peligro-la-salud-de-los-ciudadanos-europeos>
- [3] *La importancia del tratamiento de aguas residuales y el uso benéfico de biosólidos en México* [online]. [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/235413357\\_La\\_importancia\\_del\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_y\\_el\\_uso\\_benefico\\_de\\_biosolidos\\_en\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/235413357_La_importancia_del_tratamiento_de_aguas_residuales_y_el_uso_benefico_de_biosolidos_en_Mexico)
- [4] *Problemática de la contaminación del agua en el Perú | Drupal* [online]. [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <http://www.ana.gob.pe/normatividad/problematika-de-la-contaminacion-del-agua-en-el-peru-0>
- [5] CORREO, NOTICIAS. *Río Shullcas es cloaca contaminada por desagüe y basura | PERU | CORREO* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://diariocorreo.pe/peru/rio-shullcas-es-cloaca-contaminada-por-desag-97832/>
- [6] *La OMS publica las Directrices sobre la calidad del agua para usos recreativos, coincidiendo con la llegada del verano y el calor* [online]. [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://www.who.int/es/news/item/13-07-2021-who-launches-guidelines-for-recreational-water-quality-as-summer-heats-up>
- [7] LIANG, Zhen, Yanxin WANG, Yu ZHOU a Hui LIU. Coagulation removal of melanoidins from biologically treated molasses wastewater using ferric chloride. *Chemical Engineering Journal*

- [online]. 2009, **152**(1), 88–94. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2009.03.036
- [8] PROKOPOVA, Michaela, Katerina NOVOTNA, Lenka PIVOKONSKA, Lenka CERMAKOVA, Tomas CAJTHAML a Martin PIVOKONSKY. Coagulation of polyvinyl chloride microplastics by ferric and aluminium sulphate: Optimisation of reaction conditions and removal mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. 2021, **9**(6), 106465. ISSN 22133437. Dostupné z: doi:10.1016/j.jece.2021.106465
- [9] DU, Zhiping, Zupeng GONG, Wenhao QI, Enze LI, Jing SHEN, Jianfeng LI a Huazhang ZHAO. Coagulation performance and floc characteristics of poly-ferric-titanium-silicate-chloride in coking wastewater treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 2022, **642**(92), 128413. ISSN 18734359. Dostupné z: doi:10.1016/j.colsurfa.2022.128413
- [10] ZEMMOURI, Hassiba, Madani DROUICHE, Amna SAYEH, Hakim LOUNICI a Nabil MAMERI. Coagulation flocculation test of Keddara's water dam using chitosan and sulfate aluminium. *Procedia Engineering* [online]. 2012, **33**, 254–260. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2012.01.1202
- [11] *TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UN REACTOR UASB MEDIANTE UNA MEZCLA DE AMONIO CUATERNARIO Y HIERRO* - [online]. [vid. 2022-09-16]. Dostupné z: <https://docplayer.es/127181067-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html>
- [12] *Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de vilcacoto* - [online]. [vid. 2022-09-16]. Dostupné z: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4549/Perez%20G..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] VANESSA, Ángela, Polanía JANZASOY a Luisa Fernanda CALDERÓN-VALLEJO. Evaluación De Una Estrategia Centralizada Y Una Descentralizada Para El Control De Contaminación En

Cuerpos Hídricos. *hemeroteca.unad.edu.co* [online]. 2018, **9**(1) [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: doi:10.22490/21456453.2077

- [14] RESIDUALES, R Rojas - Gestión integral de tratamiento de aguas a undefined 2002. Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *academia.edu* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/download/57123734/GESTION\\_INTEGRAL\\_DEL\\_TRATAMIENTO\\_AR.pdf](https://www.academia.edu/download/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf)
- [15] AGUA, PF Martínez-Austria - Tecnología y ciencias del a undefined 2013. Los retos de la seguridad hídrica. *scielo.org.mx* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000500011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500011)
- [16] ESCOBAR, J. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar [online]. 2002 [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6411>
- [17] POSADA, C Costa, ... E Domínguez Calle - Revista a undefined 2005. El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis ó una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *revistas.uniandes.edu.co* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/abs/10.16924/revinge.22.12>
- [18] DÍAZ, M, L RIVAS, D FERNÁNDEZ, D SALAZAR, S Miller - Centro AZÚCAR a undefined 2017. Selección de programa químico de tratamiento para aguas residuales oleosas. *scielo.sld.cu* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612017000200010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200010)
- [19] CHAPEÑA, MC, CJT OLAVE - Santiago de CALI a undefined 2011. Evaluación de la Dosificación de Cloruro Férrico para el Tratamiento Primario Avanzado del Agua Residual Doméstica Afluente a la PTAR-CAÑAVERALEJO. *researchgate.net* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/269102182\\_EVALUACI](https://www.researchgate.net/publication/269102182_EVALUACI)

ON\_DE\_LA\_DOSIFICACION\_DE\_CLORURO\_FERRICO\_PARA\_E  
L\_TRATAMIENTO\_PRIMARIO\_AVANZADO\_DEL\_AGUA\_RESIDU  
AL\_DOMESTICA\_AFLUENTE\_A\_LA\_PTAR-\_CANAVERALEJO

- [20] DÍAZ, M, L RIVAS, D FERNÁNDEZ, D SALAZAR, S Miller - Centro AZÚCAR a undefined 2017. Selección de programa químico de tratamiento para aguas residuales oleosas. *scielo.sld.cu* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612017000200010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200010)
- [21] BARBARÁN-SILVA, Hellen, Jhanny LÓPEZ-CHÁVEZ a Julio CHICO-RUÍZ. Tratamiento de agua para consumo humano. *revistas.ulima.edu.pe* [online]. 2017, 5(1), 7–16 [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: [https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria\\_industrial/article/view/232](https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/232)
- [22] BRATBY, J. Coagulation and flocculation: with an emphasis on water and wastewater treatment. [online]. 1980. ISSN 03009467. Dostupné z: [doi:10.1016/0300-9467\(81\)80062-7](https://doi.org/10.1016/0300-9467(81)80062-7)
- [23] HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R a C Fernández COLLADO. Metodología de la investigación [online]. 2018 [vid. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/21401/1/11699.pdf>
- [24] METCALF AND EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización*. 1995. ISBN 0070416907.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°1:** matriz de operacionalización de variables

VARIABLES		DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	COAGULANTES	Es la sustancia que tiene la capacidad de coagular las sustancias contaminantes del agua residual	Se identifica por las características físicas y químicas que posee la sustancia coagulante	Sulfato de aluminio	g.	Razón
				Cloruro férrico	g.	Razón
	Tiempo de sedimentación	Es el tiempo que tienen las partículas del agua para decantar por efecto de la gravedad	Se identifica por medición en el tiempo después del proceso de mezcla del coagulante	Tiempo	Minutos	Razón

DEPENDIENTE	FRACCIÓN DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ	Es el tanto por ciento que representa la diferencia de turbidez, antes y después de la operación de coagulación, respecto de la turbidez al inicio	Se determina calculando la fracción de reducción de turbidez de las muestras de agua antes y después de la operación de coagulación, respecto de la turbidez inicial	turbidez	NTU	razón
-------------	----------------------------------	--	--	----------	-----	-------

## ANEXO N° 2: Imagen satelital del lugar donde se tomó las muestras.



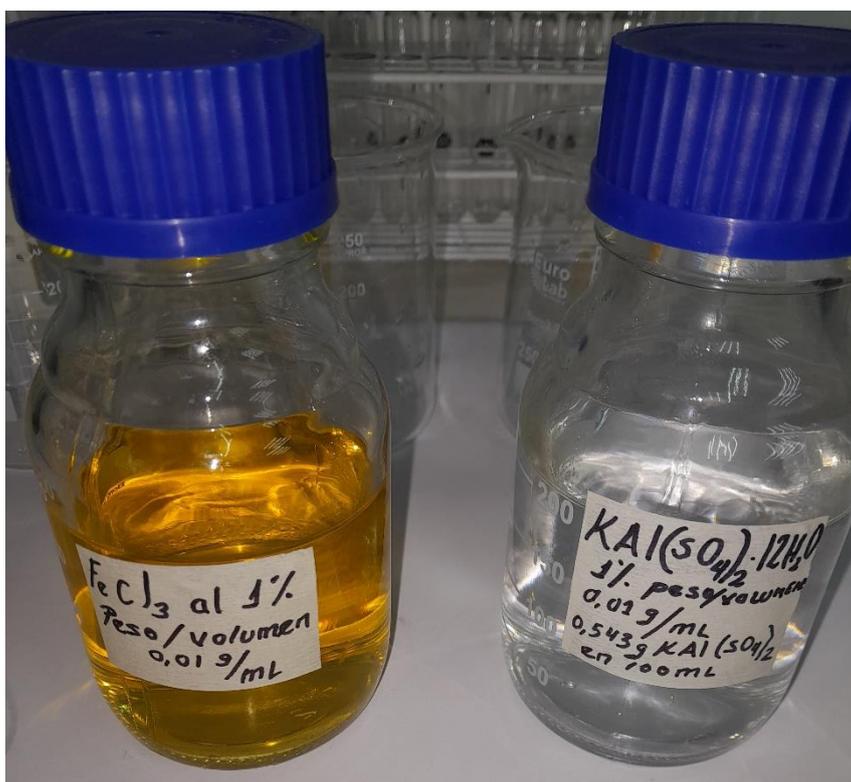
Fuente: Google earth

## ANEXO N° 3: muestra del agua del rio Shullcas.

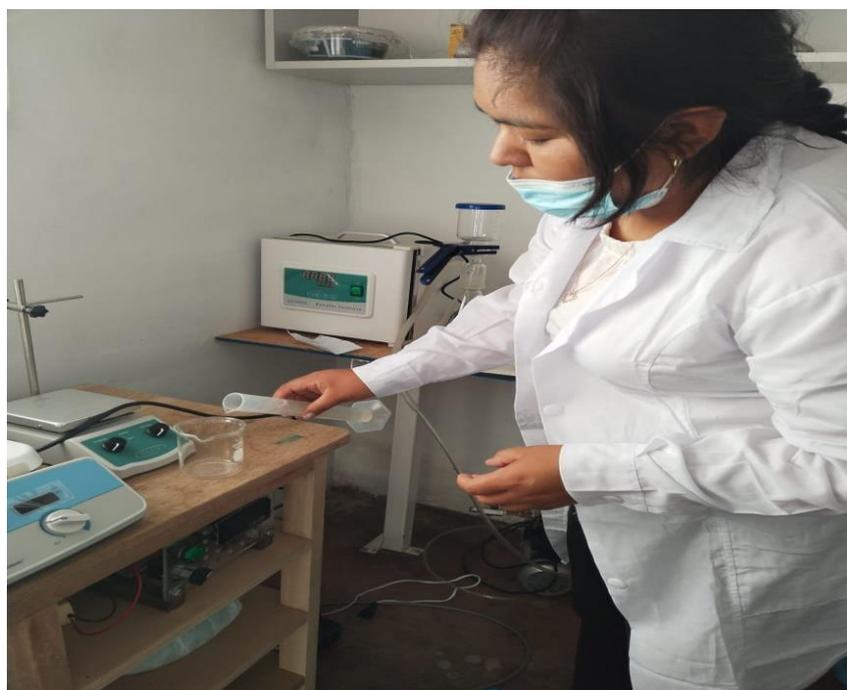


FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 4:** Coagulantes preparados y almacenados en sus respectivos frascos



**ANEXO N° 5:** separando 150 ml de agua del rio Shullcas.



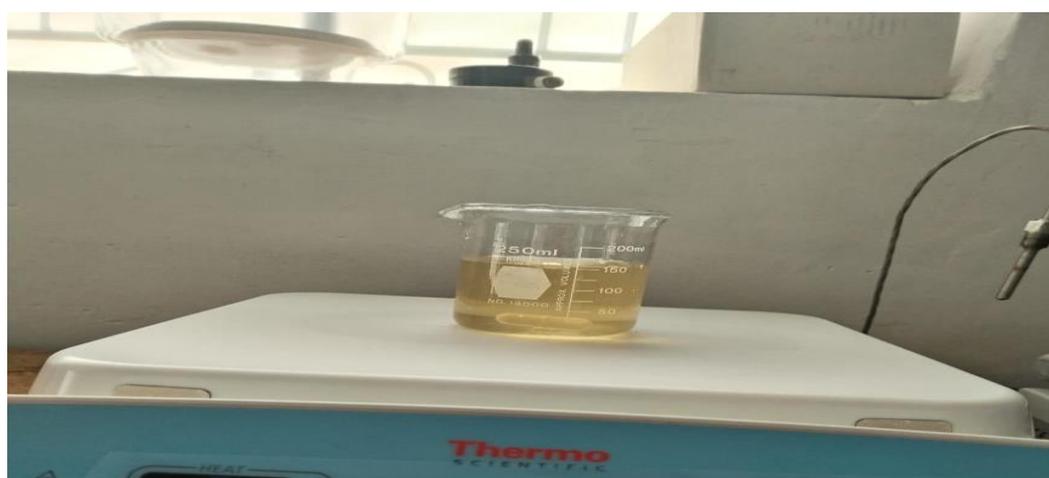


FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 6:** sacando 2.5 ml de la solución de cloruro férrico

FUENTE: elaboración propia

**ANEXO N° 7:** llevamos el ensayo al mezclador magnético con barra magnética para la agitación.



FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 8:** barra magnética.



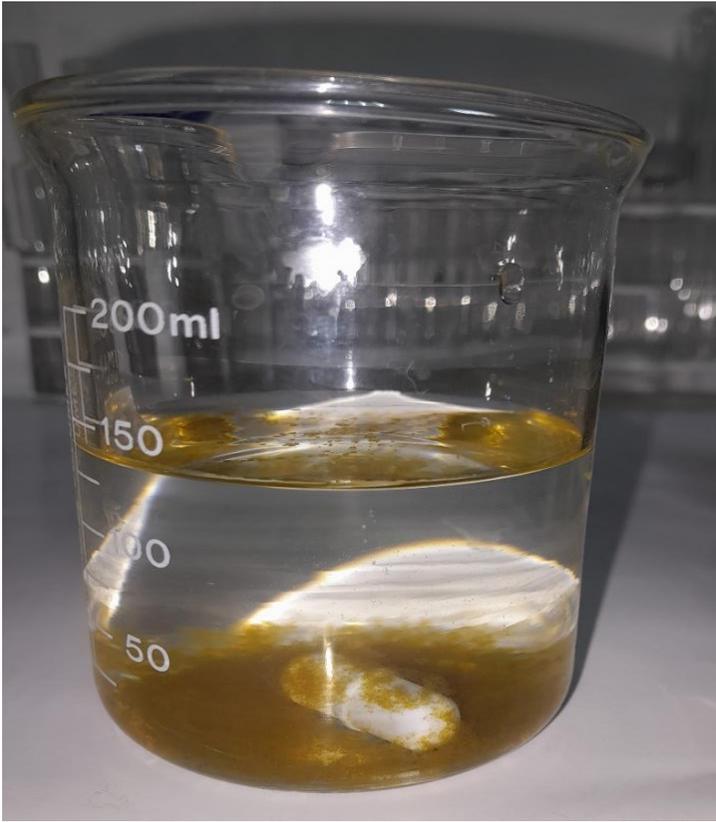
FUENTE: elaboración propia

**ANEXO N° 9:** Dejamos reposando la muestra, después de haber agitado por 5 min.



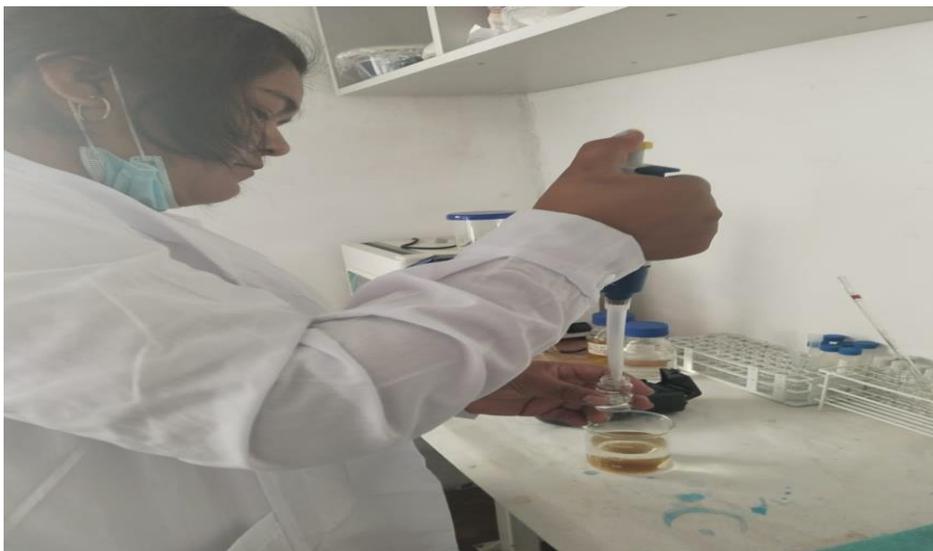
FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 10:** precipitado que se obtuvo después de la coagulación con cloruro férrico



FUENTE: elaboración propia

**ANEXO N° 11:** tomando 10 ml de muestra del precipitado para llevarlo al turbidímetro.



FUENTE: elaboración propia.

### ANEXO N° 12: turbidímetro



FUENTE: elaboración propia.

### ANEXO N° 13: probeta.



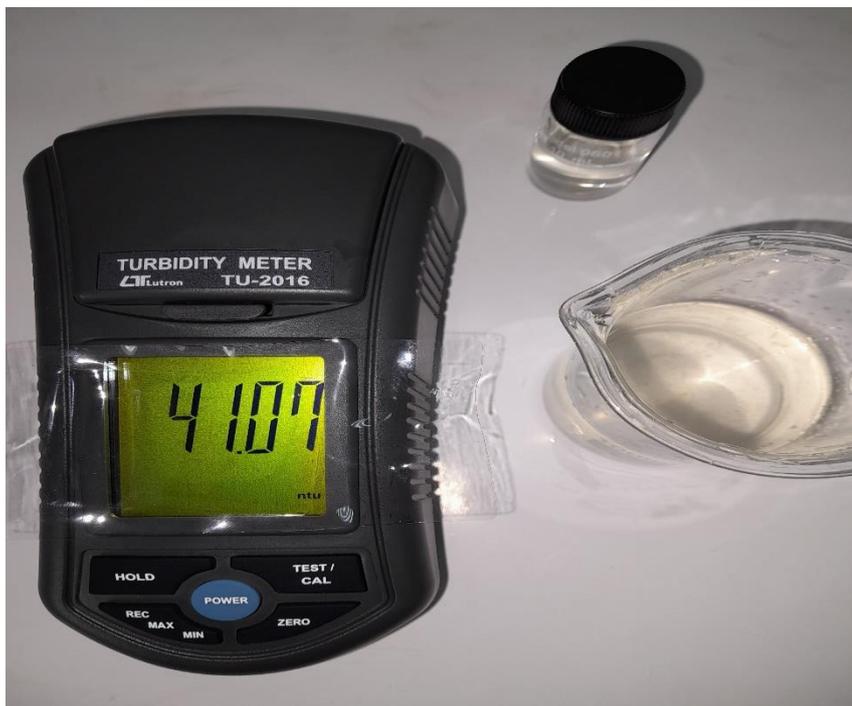
FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 14:** pipeta.



FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 15:** medición de turbidez del agua del rio Sullcas recién tomada.



FUENTE: elaboración propia

**ANEXO N° 16:** medición de turbidez del agua del rio Shullcas después de actuar con el coagulante sulfato de aluminio.



FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 17:** comparación de la sedimentación con los 2 coagulantes.



FUENTE: elaboración propia.

**ANEXO N° 18:** resultados de laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
Vicerrectorado de Investigación  
**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE AGUAS**  
Av. Mariscal Castilla N° 3909-4089 Pabellón "C" - Tercer piso CIUDAD UNIVERSITARIA  
correo electrónico: [labinvaguas@uncp.edu.pe](mailto:labinvaguas@uncp.edu.pe)

NOMBRE DEL PROYECTO	N° DE REPORTE:	070/2022	DATOS DEL SOLICITANTE	
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS COAGULANTES SULFATO DE ALUMINIO Y CLORURO FÉRRICO EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS DEL RIO SHULLCAS			CINTYA LIZBET MEZA SILVA	
			FECHA DE MUESTREO	01/10/2022
			FECHA DE ANÁLISIS	01/10/2022
FUENTE:	RIO SHULLCAS		PUNTO DE MUESTREO	
LOCALIDAD:	HUANCAYO			
DIST/PROV/DEP.	HUANCAYO/ HUANCAYO/ JUNÍN		Sur:	12° 04' 16"
PARÁMETROS:	FISICOQUÍMICO		Oeste:	75° 73 31"
MUESTREO POR:	Cintya Lizbet Meza Silva			

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B. Conductividad	µS/cm.	623.67
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SM 2540 C. Total de Sólidos Disueltos	(mg/L)	372.67
SOLIDOS SUSPENDIDOS	SM 2540 B. Método gravimétrico	(mg/L)	910
SOLIDOS TOTALES	SM 2540 B. Sólidos totales	(mg/L)	1282.67
TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	41.12
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	SM 3220 B. Reflujo Cerrado, Método colorimétrico	(mg/L)	678.00

OBSERVACIONES:

\*Las muestras fueron proporcionados por el interesado(a)

\*Documentos de referencia: Standard Methods for examination of water and wastewater 23rd Edition -2017



*[Firma]*  
Dra. María Cecilia Villanueva  
COORDINADORA GENERAL

FUENTE: laboratorio UNCP.

