

15.1%

Fecha: 2023-10-10 16:29 UTC

* Todas las fuentes 100 Fuentes de internet 100

<input checked="" type="checkbox"/>	[0]	www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_cap4.pdf	5.9%	139 resultados	1 documento con coincidencias exactas
<input checked="" type="checkbox"/>	[2]	1library.co/document/z12rgney-evaluacion-cactacea-opuntia-ficus-indica-coagulante-natural-tratamiento.html	2.2%	58 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[3]	repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6813/manual_coagulantes_floculantes.pdf?sequence=1	1.8%	52 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[4]	www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003#:text=Con respecto a la velocidad,en el rango 10-40rpm.	1.7%	49 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[5]	docplayer.es/56574194-Propuesta-de-un-sistema-de-gestion-ambiental-basado-en-la-norma-iso-14001-2004-para-el-matadero-municipal-de-la-ciudad-de-lambayeque.html	1.4%	39 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[6]	unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdg6_indicador_report_631_progress-on-wastewater-treatment_2021_es.pdf	1.5%	47 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[7]	1library.co/document/q02679y-aprueba-limites-maximos-permisibles-efluentes-actividades-agroindustriales-beneficio.html	1.0%	16 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[8]	1library.co/article/particulas-suspension-fundamentos-procedimiento-coagulacion.y4wxmnrq	1.1%	30 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[9]	1library.co/article/mecanismos-proceso-coagulacion-proceso-coagulacion-floculacion-tratamiento.y732omy	1.1%	31 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[10]	repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/642/T_628.162_D542_2014.pdf?sequence=1	0.9%	25 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[11]	www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n2/v6n2a3.pdf	0.8%	27 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[12]	aniqu.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/Sulfato de Al.Sol. Libre de Fe(toda LIT).pdf	0.8%	28 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[13]	repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33953/Capitulo3Analisisquimico2016MyriamChacon.pdf?sequence=1	0.7%	24 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[14]	1library.co/article/el-sistema-de-alcantarillado-sanitario-decreto-supremo.yj7d6opy	0.6%	13 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[15]	dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7152687.pdf	0.5%	19 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[16]	oa.upm.es/9869/1/Arturo_Trapote_Jaume_Memoria.pdf	0.5%	15 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[17]	alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC_9d5348c4f1406a3c8549c465405cb00d	0.5%	14 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[18]	cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/Caracteristicas.PDF	0.5%	15 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[19]	www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative	0.5%	17 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[20]	bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/25985/4/PinedaHermes_2022_EvaluacionCalidadAguas.pdf	0.4%	17 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[21]	tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19925/Capitulo1.pdf	0.4%	12 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[22]	dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO_2.pdf	0.4%	14 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[23]	sicresinnovas.com/el-metodo-del-muestreo-de-aguas-residuales-y-tipos-de-analisis-empleados/	0.4%	13 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[24]	sigmadafclarifiers.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-petroleo-gas/	0.3%	14 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[25]	www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n1/v10n1a04.pdf	0.3%	11 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[26]	cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/libros/Pasar/policloruro_aluminio.pdf	0.3%	10 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[27]	es.wikipedia.org/wiki/Aguas_residuales	0.3%	11 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[28]	1library.co/article/coagulacion-floculacion-diseño-edar-tratamiento-aguas-residuales-in.zkwlogez	0.3%	10 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[29]	www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda	0.3%	7 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[30]	www.sunass.gob.pe/nuestras-funciones/homar/valores-maximos-admisibles-wma/	0.3%	6 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[31]	www.gob.pe/institucion/sunass/colecciones/15810-valores-maximos-admisibles-wma	0.3%	7 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[32]	ilssafework.com/limites-maximos-permisibles-imp/	0.3%	10 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[33]	ecoduo.org/que-son-las-aguas-residuales/	0.3%	10 resultados	
<input checked="" type="checkbox"/>	[34]	sigmadafclarifiers.com/eliminacion-de-solidos-suspendidos-totales-del-agua-residual/	0.3%	9 resultados	

<input checked="" type="checkbox"/>	[35]	repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97929	0.3%	10 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[36]	www.amoquimicos.com/propiedades-del-cloruro-ferrico	0.3%	10 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[37]	www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/EC23F871-B5EB-4482-8E3D-10B40D251397/116390/ACCESEspaPublicUrba.pdf	0.2%	7 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[38]	sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles	0.2%	8 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[39]	www.micronicsinc.com/es/filtration-news/what-is-industrial-wastewater/	0.2%	8 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[40]	www.hidrotec.com/blogtipos-de-aguas-residuales/	0.2%	9 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[41]	www.limpumps.com/es-do/technologies/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment	0.2%	8 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[42]	aindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2021/05/2021-AI-Index-Report_Spanish-Edition.pdf	0.2%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[43]	ocw.ehu.eus/mod/resource/view.php?id=41529	0.2%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[44]	www.ecologiahoy.com/aguas-residuales	0.1%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[45]	1library.co/articulo/factores-que-influyen-en-el-proceso-de-coagulacion.z1r3wgeq	0.2%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[46]	leyes-mx.com/ley_federal_de_derechos/278-B.htm	0.1%	2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[47]	www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/nuevos-conceptos-caracterizacion-agua-residual-industrial	0.2%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[48]	cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/idades/LIBROS/logo/pdf/coagulacion_floculacion_agua.pdf	0.1%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[49]	mexico.pochteca.net/que-son-los-coagulantes-y-que-tipos-existen/	0.2%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[50]	telwesa.com/aguas-residuales/	0.2%	7 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[51]	es.scribd.com/document/134190057/DS-015-2012-AG	0.1%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[52]	www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes	0.2%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[53]	scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-028X2022000200060	0.1%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[54]	www.youtube.com/watch?v=v-f-P2BQAR4	0.1%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[55]	www.cdb.chmhonduras.org/index.php/acerca/elementos/81-agua/766-agua-potable-y-saneamiento-en-honduras	0.2%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[56]	www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166808/NMX-AA-112-1995.pdf	0.1%	2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[57]	www.midagri.gob.pe/portal/marco-legal/normas-legales66/decretos-supremos68/2012/8235-decreto-supremo-n015-2012-ag	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[58]	www.cienciacierta.uadec.mx/2014/06/05/comportamiento-de-particulas-coloidales-en-pinturas-base-agua/	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[59]	productosquimicoschile.cl/cloruro-ferrico-usos-y-aplicaciones/	0.1%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[60]	www.fcn.unp.edu.ar/sitio/tecnofarma/wp-content/uploads/2010/04/ESTABILIDAD-DE-LAS-DISPERSIONES-COLOIDALES.pdf	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[61]	telwesa.com/aguas-industriales/	0.1%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[62]	www.gob.pe/institucion/senasa/normas-legales/962261-15-2012-ag	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[63]	docplayer.es/148961295-Universidad-nacional-de-trujillo.html	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[64]	ingenieriaambiental.net/parametros-quimicos-del-agua/	0.1%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[65]	www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2839941-071-2022-minam	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[66]	es.scribd.com/document/386216696/Manual-de-Dosificacion	0.1%	2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[67]	scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382021000200039	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[68]	1library.co/articulo/coagulacion-sedimentacion-mezclado-coagulacion-floculacion-sedimentacion.q2n05neq	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[69]	cropaia.com/es/blog/la-coagulacion-en-el-tratamiento-de-aguas/	0.1%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[70]	es.scribd.com/document/435401182/Tesis-de-un-camal	0.1%	2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[71]	es.thefreedictionary.com/coagulantes		

	0.1%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [72]	dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35746/4/Trabajo de Titulacion.pdf.txt	0.1% 5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [73]	repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/126/T_575.46_B352_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y	0.1% 4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [74]	fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [75]	sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-descarga-efluentes-liquidos	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [76]	www.fundacionaquae.org/aguas-residuales-datos-usos/	0.1% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [77]	www.aguasresiduales.info/revista/noticias/monitorizacion-de-solidos-en-suspension-para-un-mejor-control-de-edar-blqiZ	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [78]	www.corzan.com/blog-sp/tipos-de-tuberias-para-aguas-residuales	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [79]	es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/S614A.pdf	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [80]	www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752020000100036	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [81]	www.semanticscholar.org/paper/Modelo-estadístico-para-determinar-la-dosificación-Aparicio-Bayona/00e4d8537f3fc909bb219899743de8db28d0b93a	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [82]	www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/274663-proyecto-d-s-lmp-para-efluentes-de-actividades-agroindustriales-tales-como-planta-de-camales	0.0% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [83]	es.wikipedia.org/wiki/Cloruro de hierro(III)	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [84]	1library.co/article/variables-dimensiones-indicadores-definición-conceptual-operacional.q2n46622	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [85]	es.scribd.com/document/429463601/Camal-Municipal-de-Cajamarca	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [86]	rotoplas.com.ar/agroindustria/que-es-la-agroindustria-y-por-que-es-importante-en-argentina/	0.1% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [87]	online-tesis.com/el-titulo-de-la-investigacion/	0.0% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [88]	postgradoingenieria.com/agua-residual-como-tratarla/	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [89]	www.educa.com.bo/biologia/citofisica/sistema-coloidal	0.1% 3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [90]	es.scribd.com/document/352286160/Lmp-Camales	0.1% 1 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [91]	www.gob.pe/12808-valores-maximos-admisibles-vma	0.1% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [92]	www.gob.pe/10823-solicitar-autorizacion-de-reuso-de-aguas-residuales-industriales-municipales-y-domesticas-tratadas	0.1% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [93]	www.iagua.es/blogs/rafael-saul-hara-rivas/situacion-agua-potable-y-alcantarillado-peru	0.1% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [94]	www.oecd.org/daf/competition/ENG-WEB-REPORT-Chicken-MeatMarketMexico2018.pdf	0.0% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [95]	es.scribd.com/document/195509821/Lmp-Camales	0.1% 1 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [96]	www.quimpac.com.co/index.php/cloruro-ferrico	0.0% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [97]	www.lenntech.es/particulas-colicoidales.htm	0.0% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [98]	www.fullquimica.com/2012/10/propiedades-de-los-coloides.html	0.0% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [99]	trabajofinal.es/prueba-shapiro-normalidad-ejemplo/	0.0% 2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/> [100]	www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/de-donde-proviene-las-aguas-residuales-industriales/	0.0% 2 resultados

136 páginas, 27941 palabras

 Se detectó un color de texto muy claro que podría ocultar caracteres utilizados para combinar palabras.

Nivel del plagio: 15.1% seleccionado / 15.8% en total

397 resultados de 101 fuentes, de ellos 101 fuentes son en línea.

Configuración

Directiva de data: *Comparar con fuentes de internet, Comparar con documentos propios*

Sensibilidad: *Media*

Bibliografía: *Considerar Texto*

Detección de citas: *Reducir PlagLevel*

Facultad de Ingeniería
Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y **Prevención de Riesgos**

**SULFATO DE ALUMINIO Y SU INCIDENCIA EN LA REMOCIÓN
DE CARGA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL
MUNICIPAL DE CAJAMARCA**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título
Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Bach. Lizeth Suguey Chinche Chávez

Asesor: Dr. Ing. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú

2023

COPYRIGHT © 2023 by
Lizeth Suguey Chinche Chávez
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIA POLÍTICA
CARRERA PROFESIONAL DE DERECHO Y CIENCIA POLÍTICA
APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

TITULO DE LA TESIS

“SULFATO DE ALUMINIO Y SU INCIDENCIA EN LA REMOCIÓN DE
CARGA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL
DE CAJAMARCA”

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este momento, brindándome salud y fortaleza para no decaer y poder lograr con mis objetivos.

A mi madre por su incansable esfuerzo, dedicación y por todos los sacrificios que hizo por sacarme adelante, por educarme con buenos valores y por enseñarme a seguir luchando a pesar de las adversidades.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco A Dios por brindarme la vida para seguir realizando mis objetivos, a mi Madre por protegerme y guiarme desde el cielo.

A Percy Infante Chávez mi compañero de vida por apoyarme con su tiempo, su paciencia sus motivaciones y sus conocimientos para poder culminar mi tesis logrando así tener mi carrera profesional.

Al Dr. Persi Vera Zelada por brindarme la oportunidad de asesorarme, brindarme conocimientos, su tiempo y su ayuda para poder obtener mi título profesional.

A la UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO por inculcarnos valores y ética profesional además de darme la oportunidad de cumplir con mis metas y objetivos profesionales para culminar con mi carrera.

[35] ▶

RESUMEN

Esta investigación se realizó debido a la contaminación ambiental que se genera a consecuencia de la derivación de las aguas residuales del Camal Municipal de Cajamarca hacia el Río San Lucas y al sistema de alcantarillado, sin ningún tipo de tratamiento previo, afectando la salud de la población cajamarquina, manifestada principalmente por la proliferación de microorganismos patógenos, insectos, roedores y animales carroñeros; y al sistema de alcantarillado mediante obstrucción de la redes de desagüe.^[4] El objetivo de la investigación fue determinar la incidencia del sulfato de aluminio en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca como un método de tratamiento primario. Se consideraron 3 días distintos de recolección de muestras, la cual estuvo en función al número de matanzas diarias, siendo el día lunes el de alta matanza, miércoles el día de matanza media y jueves el día de baja matanza. Para cada día de recolección, se realizaron 5 casos de estudio (muestra con tratamiento) y 1 caso control (muestra sin tratamiento).^[4] Se realizó la prueba de jarras para estimar los parámetros físico-químicos: turbidez y demanda química de oxígeno (DQO), de cada uno de los casos de estudio, así como la determinación de la dosis óptima de Sulfato de Aluminio al 1%. Con el objeto de comprobar la hipótesis planteada, se empleó la prueba estadística Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor. Los resultados mostraron una máxima remoción de la turbidez de 70.21% y de 70.11% para la demanda química de oxígeno (DQO), utilizando una dosis óptima de 12 ml de solución de sulfato de aluminio al 1%, equivalente a 240 mg/L.^[4] Además, se pudo observar que la turbidez y la demanda química de oxígeno (DQO) presentaron una tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio. De la contrastación de hipótesis se concluyó que el sulfato de aluminio como coagulante incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

Palabras clave: agua residual, camal, carga orgánica, coagulación, demanda química de oxígeno, efluente, sulfato de aluminio, tratamiento turbidez.

ABSTRACT

This investigation was carried out due to the environmental contamination that is generated as a result of the diversion of wastewater from the Cajamarca Municipal Farm to the San Lucas River and the sewage system, without any type of prior treatment, affecting the health of the population. Cajamarquina, manifested mainly by the proliferation of pathogenic microorganisms, insects, rodents and scavengers; and to the sewage system by blocking the drainage networks. The objective of the research will be to determine the incidence of aluminum sulfate in the removal of organic load in the wastewater of the Cajamarca municipal slaughterhouse as a primary treatment method. Three different days of re-selection of samples were considered, which was based on the number of daily slaughters, being Monday the day of high slaughter, Wednesday the day of medium slaughter and Thursday the day of low slaughter. For each collection day, 5 study cases (sample with treatment) and 1 control case (sample without treatment) were performed. ^[4] The jar test was carried out to estimate the physical-chemical parameters: turbidity and chemical oxygen demand (COD), of each of the study cases, as well as the determination of the optimal dose of 1% Aluminum Sulfate. In order to verify the proposed hypothesis, the one-factor Analysis of Variance (ANOVA) statistical test was used. The results showed a maximum turbidity removal of 70.21% and 70.11% for chemical oxygen demand (COD), using an optimal dose of 12 ml of 1% aluminum sulfate solution, equivalent to 240 mg/L. In addition, it was observed that the turbidity and the chemical oxygen demand (COD) presented a tendency to increase, as the optimal dose of aluminum sulfate was increased in the study cases. From the verification of hypotheses, it was concluded that aluminum sulfate as a coagulant affects the removal of organic load in the wastewater of the Cajamarca municipal slaughterhouse.

Keywords: wastewater, slaughterhouse, organic load, coagulation, chemical oxygen demand, effluent, aluminum sulfate, turbidity treatment.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
LISTA DE TABLAS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Planteamiento del problema de investigación.....	14
1.1.1. Descripción de la realidad problemática.....	14
1.1.2. Formulación del problema de investigación.....	19
1.2. Justificación e importancia.....	19
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Hipótesis.....	20
1.5. Variables.....	20
1.5.1. Operacionalización de variables.....	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes teóricos.....	22
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.2. Marco teórico.....	29
2.2.1. Aguas residuales.....	29
2.2.1.1. Tipos de aguas residuales.....	29
2.2.1.1.1. Aguas residuales industriales.....	29
2.2.1.1.2. Aguas residuales domésticas.....	29
2.2.1.1.3. Aguas residuales municipales.....	29
2.2.1.2. Aguas residuales de camales o mataderos.....	30
2.2.1.3. Parámetros para caracterizar aguas residuales.....	31
2.2.1.3.1. Parámetros físicos.....	31
2.2.1.3.2. Parámetros químicos.....	32
2.2.2. Partículas coloidales.....	33
2.2.2.1. Tipos de coloides de acuerdo con su comportamiento en el agua.....	35
2.2.2.2. Propiedades de los coloides.....	36
2.2.2.3. Naturaleza de la turbiedad y el color.....	38
2.2.2.4. Estabilidad e inestabilidad de los coloides.....	38
2.2.3. Coagulación.....	40
2.2.3.1. Etapas de la coagulación.....	40
2.2.3.2. Mecanismos de coagulación predominantes.....	42
2.2.3.3. Factores que influyen en el proceso de coagulación.....	46
2.2.4. Sustancias químicas empleadas en la coagulación.....	53
2.2.4.1. Coagulantes.....	53
2.2.4.1.1. Sulfato de aluminio.....	54
2.2.5. Prueba de jarras.....	55

2.2.6. Camal municipal de Cajamarca.....	55
2.2.6.1. Descripción general	56
2.2.6.2. Diagrama de flujo de los procesos	56
2.2.6.3. Análisis de la problemática	57
2.2.6.4. Manejo medio ambiental de los residuos del camal	59
2.2.6.5. Suministro de agua potable.....	59
2.2.6.6. Efluentes - Líneas de Drenaje	63
2.2.6.7. Agua residual total generada.....	64
2.2.7. Norma técnica legal peruana.....	67
2.2.7.1. Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto.....	67
2.2.7.2. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de camales y plantas de beneficio.....	67
2.2.7.3. Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.....	68
2.3. Marco conceptual.....	70
CAPÍTULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	75
3.1. Ubicación.....	75
3.2. Tipo de investigación	75
3.3. Métodos de investigación.....	76
3.4. Población	76
3.5. Muestra.....	76
3.6. Unidad de análisis.....	78
3.7. Diseño de investigación.....	78
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	84
3.9. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	84
3.10. Contrastación de hipótesis	85
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
4.1. Parámetros físico-químicos de los casos sin tratamiento.....	87
4.2. Parámetros físico-químicos de los casos con tratamiento	88
4.2.1. Casos 1 al 5.....	88
4.2.2. Casos 6 al 10.....	90
4.2.3. Casos 11 al 15.....	92
4.3. Determinación porcentajes de remoción y dosis óptima	94
4.3.1. Casos 1 al 5.....	94
4.3.2. Casos 6 al 10.....	99
4.3.3. Casos 11 al 15.....	105
4.3.4. Dosis óptima.....	110
4.4. Contrastación de hipótesis	111
4.5. Discusión de resultados.....	117
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
5.1. Conclusiones.....	121
5.2. Recomendaciones	123
REFERENCIAS	124
ANEXOS.....	130
Anexo 1. Panel fotográfico	130
Anexo 2. Matriz de consistencia metodológica.....	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	21
Tabla 2. ^[01] Efecto al disminuir el tamaño de las esferas	37
Tabla 3. Consumo total de agua potable diario en los días de mayor matanza en el camal	64
Tabla 4. Consumo total de agua potable diario en los días de matanza media en el camal	65
Tabla 5. Consumo total de agua potable diario en los días de menor matanza en el camal	65
Tabla 6. Volumen de sangre total diaria resultante en los días de mayor matanza en el camal	66
Tabla 7. Volumen de sangre total diaria resultante en los días de matanza media en el camal	66
Tabla 8. Volumen de sangre total diaria resultante en los días de menor matanza en el camal	66
Tabla 9. ^[7] Límites Máximos Permisibles para efluentes líquidos de las actividades agroindustriales en promedio diario.....	68
Tabla 10. Valores Máximos Permisibles para descarga en los sistemas de alcantarillado	69
Tabla 12. ^[18] Procedimiento para toma de muestras de agua residual	77
Tabla 13. Cantidades de muestras recolectadas	77
Tabla 14. Días de recolección de muestras	79
Tabla 15. Casos de estudio del agua residual.....	80
Tabla 16. Parámetros definidos para el funcionamiento de la prueba de jarras.....	81
Tabla 17. ^[12] Dosis de sulfato de aluminio al 1% definidos para la prueba de jarras	82
Tabla 18. Parámetros físico-químicos a cuantificar	83
Tabla 19. Parámetros físico-químicos de los casos sin tratamiento.....	87
Tabla 20. Parámetros físico-químicos del Caso 1.....	88
Tabla 21. Parámetros físico-químicos del Caso 2.....	88
Tabla 22. Parámetros físico-químicos del Caso 3.....	89
Tabla 23. Parámetros físico-químicos del Caso 4.....	89
Tabla 24. Parámetros físico-químicos del Caso 5.....	89
Tabla 25. Parámetros físico-químicos del Caso 6.....	90

Tabla 26. Parámetros físico-químicos del Caso 7.....	90
Tabla 27. Parámetros físico-químicos del Caso 8.....	91
Tabla 28. Parámetros físico-químicos del Caso 9.....	91
Tabla 29. Parámetros físico-químicos del Caso 10.....	91
Tabla 30. Parámetros físico-químicos del Caso 11.....	92
Tabla 31. Parámetros físico-químicos del Caso 12.....	92
Tabla 32. Parámetros físico-químicos del Caso 13.....	93
Tabla 33. Parámetros físico-químicos del Caso 14.....	93
Tabla 34. Parámetros físico-químicos del Caso 15.....	93
Tabla 35. Valores de la turbidez postratamientos – Casos día lunes.....	94
Tabla 36. Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día lunes ...	95
Tabla 37. Valores de la DQO postratamientos – Casos día lunes	96
Tabla 38. Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día lunes.....	98
Tabla 39. Valores de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles.....	99
Tabla 40. Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles	100
Tabla 41. Valores de la DQO postratamientos – Casos día miércoles	102
Tabla 42. Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día miércoles	103
Tabla 43. Valores de la turbidez postratamientos – Casos día jueves	105
Tabla 44. Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día jueves	106
Tabla 45. Valores de la DQO postratamientos – Casos día jueves	108
Tabla 46. Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día jueves	109
Tabla 47. Valores de las dosis óptimas	111
Tabla 48. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para datos de la turbidez	113
Tabla 49. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para datos de la DQO.....	114
Tabla 50. Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de la turbidez.....	115
Tabla 51. Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de la DQO	115
Tabla 52. Prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para la turbidez	116
Tabla 53. Prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para la DQO.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Inundación del parque “Las Flores” por aguas residuales del camal municipal de Cajamarca	17
Figura 2. Inundación de las calles centrales por aguas residuales del camal municipal a pocas cuadras de la plaza de armas de Cajamarca	17
Figura 3. ^[5] Generación de aguas residuales en el Perú al año 2024	30
Figura 4. ^[85] Aguas residuales del camal municipal de Cajamarca	31
Figura 5. ^[8] Distribución de tamaños de las partículas en el agua.....	34
Figura 6. ^[0] Configuración esquemática de la doble capa eléctrica.....	35
Figura 7. ^[0] Modelo esquemático del proceso de coagulación.....	42
Figura 8. Coagulación por adsorción	43
Figura 9. ^[0] Potencial zeta en la coagulación por adsorción.....	44
Figura 10. ^[0] Coagulación de barrido o arrastre de partículas	45
Figura 11. ^[0] Potencial zeta en la coagulación por barrido	46
Figura 12. Representación esquemática de los tipos de zonas al aplicar dosis de coagulante.....	49
Figura 13. Ubicación del camal municipal de Cajamarca	56
Figura 14. ^[85] Flujograma de actividades desarrolladas en el proceso de faenado en el camal municipal de Cajamarca	57
Figura 15. Área de aturdimiento, desangrado y desollado en el camal municipal.....	60
Figura 16. Aguas residuales con sangre en el camal municipal	61
Figura 17. Almacenamiento de agua para su suministro en las actividades eviscerado y corte.....	62
Figura 18. Área de lavado de vísceras generando un gran volumen de agua residual....	63
Figura 19. Variación de la turbidez postratamientos – Casos día lunes	94
Figura 20. Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día lunes	96
Figura 21. Variación de la DQO postratamientos – Casos día lunes.....	97
Figura 22. Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día lunes	98
Figura 23. Variación de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles	99
Figura 24. Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles	101
Figura 25. Variación de la DQO postratamientos – Casos día miércoles.....	102

Figura 26. Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día miércoles	104
Figura 27. Variación de la turbidez postratamientos – Casos día jueves	105
Figura 28. Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día jueves	107
Figura 29. Variación de la DQO postratamientos – Casos día jueves.....	108
Figura 30. Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día jueves .	110
Figura 31. Discusión de resultados respecto a la demanda química de oxígeno	119
Figura 32. Discusión de resultados respecto a la turbidez.....	119
Figura 33. Discusión de resultados respecto al D.S. N° 021-2009-VIVIENDA	120

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema de investigación

1.1.1. Descripción de la realidad problemática

El tratamiento y la gestión de aguas residuales solían ser considerados como problemas que se debían eliminar o, en algunos casos, simplemente se pasaban por alto. Sin embargo, esta perspectiva está evolucionando debido al aumento de la escasez de agua en muchas regiones, lo que ha llevado a reconocer la importancia de recolectar, tratar y reutilizar las aguas residuales (UNESCO, 2017).

Las acciones humanas que requieren el uso de agua, en su mayoría producen aguas residuales. A medida que la demanda global de agua sigue aumentando, tanto la cantidad de aguas residuales producidas como su grado de contaminación están en constante crecimiento en todo el planeta. En la mayoría de los países, excepto los más desarrollados, la mayor parte de estas aguas residuales se liberan directamente en el entorno sin recibir un tratamiento adecuado. Esto tiene efectos adversos en la salud de las personas, la economía, la calidad de los recursos hídricos dulces y los ecosistemas. En promedio, en todo el mundo, más del 80% de las aguas residuales se descargan sin recibir ningún tipo de tratamiento (UNESCO, 2017).

El medio ambiente y los sistemas ecológicos están expuestos de manera inmediata a la contaminación causada por las actividades humanas, la cual puede afectar tanto a la tierra, el aire y el agua. Una de las principales fuentes de contaminación del agua se produce cuando esta recibe aguas residuales sin tratar, lo que tiene un impacto negativo en la vida que habita en el medio acuático. Dentro de este tipo de aguas residuales se incluyen las de origen industrial, que provienen de actividades industriales, comerciales o instalaciones que no están destinadas para uso residencial.

Las aguas residuales provenientes de mataderos o camales se encuentran dentro de la categoría de aguas residuales industriales. Estos lugares utilizan una significativa cantidad de agua en el proceso de limpiar el ganado y llevar

a cabo las operaciones de sacrificio (faenamiento), lo que resulta en la generación de considerables cantidades de agua que posteriormente se convierten en aguas residuales (Luna, 2017).

[50] ▶

Estas aguas residuales son caracterizadas por **contener una gran cantidad de contaminantes** de origen orgánico y físico-químico. Entre ellos se incluye la sangre procedente de las fases de izado, lavado de la carne y limpieza de vísceras rojas. También se encuentran los desechos generados en la zona de vísceras blancas, donde **se lleva a cabo la eliminación de** contenido ruminal. Como resultado, **las aguas residuales de una** planta de camal exhiben caudales elevados y concentraciones significativas de materia orgánica, compuesta sobre todo por grasa, proteína y celulosa, que se expresa en términos de la **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**. Estos niveles pueden **variar dependiendo de factores como** la cantidad de animales sacrificados día a día y el tipo de alimentación de los animales faenados (Luna, 2017).

Estas aguas, en muchos casos, se derivan directo hacia fuentes de agua naturales o sistemas de alcantarillado sin tratamiento alguno. Esto provoca perturbaciones en los ecosistemas acuáticos, olores desagradables, la proliferación de vectores, molestias para la población; produciendo una significativa contaminación ambiental. Los mataderos y su personal no son conscientes de la magnitud del problema de contaminación que causan estos efluentes cuando se vierten en fuentes de agua naturales, áreas abiertas o sistemas de drenaje directamente. Por lo tanto, el problema persiste de manera constante a diario (Murrieta, 2017).

La situación se complica aún más debido a las condiciones socioeconómicas en los camales, la mayoría de los cuales son propiedad y están gestionados por el gobierno local, lo que dificulta el acceso a sistemas de gestión de residuos más apropiados para abordar este tipo de desechos. De lo cual, es relevante proponer soluciones que no solo sean efectivas para reducir los impactos ambientales, sino que también sean asequibles y fáciles de implementar y gestionar, con el fin de prevenir y reducir los riesgos para el medio ambiente (Espinoza, 2017).

Cajamarca, como distrito según el INEI al año 2018, se tiene una población de 231 243 habitantes y como ciudad o zona urbana se tiene proyectado al año 2018 con más de 191 935 habitantes. Debido a esta cifra significativa de habitantes y la constante presencia de carne en la canasta básica de alimentos, se ha experimentado un aumento considerable en la demanda de productos cárnicos. Esto ha llevado a un incremento en la actividad de faenado de animales en el Camal Municipal de Cajamarca, destinados a satisfacer las necesidades de la población.

[19] ▶

Las aguas residuales resultantes (efluentes) del proceso de faenamiento y eviscerado en el Camal Municipal de Cajamarca, no son tratadas pues no se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales o un plan de tratamiento de efluentes, de tal forma que son arrojadas al río San Lucas y al sistema de alcantarillado. Además de ello, no se tiene un plan de residuos, el personal que labora no presenta los conocimientos mínimos adecuados, incumplimiento a las disposiciones de salubridad, tal como está establecido en el “Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto” promulgado mediante el Decreto Supremo N° -2009-MINAM “Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de canales y plantas de beneficio”, Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda “Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”, y Decreto Supremo N° 015-2012-AG “Reglamento sanitario del faenado de animales de abasto”.

De este modo, surgen varios tipos de contaminación ambiental en Cajamarca, la cual tiene un impacto negativo en la salud de la población, manifestada principalmente por la proliferación de microorganismos patógenos, insectos, roedores y animales carroñeros; y en el sistema de alcantarillado se ocasiona obstrucción de la redes de desagüe, tal como lo expresan los vecinos de la segunda cuadra de los jirones Miguel Iglesias, Jequetepeque y de la cuarta cuadra del jirón Marañón en la ciudad de Cajamarca, que paulatinamente

ingresa a sus viviendas, agua mezclada con sangre en épocas de lluvia, generando una grave problemática social y de salud.

Figura 1
Inundación del parque “Las Flores” por aguas residuales del camal municipal de Cajamarca

Fuente: La Beta Radio (2017).

Figura 2
Inundación de las calles centrales por aguas residuales del camal municipal a pocas cuadras de la plaza de armas de Cajamarca

Fuente: Radio Programas del Perú (2015).

A raíz de la diversidad de actividades en un camal, se han sugerido varios métodos para tratar sus aguas residuales, como el cribado fino, la sedimentación, la coagulación, la floculación, los filtros percoladores y los lodos activados (Otiniano, 2016).^[10] El mecanismo fisicoquímico más comúnmente utilizado debido a su eficiencia y economía es el proceso de coagulación, que implica tratar previamente las aguas residuales mediante la adición de coagulantes para facilitar la sedimentación de las partículas en suspensión (Muñoz, 2005).^[10]

En el tratamiento de las aguas residuales de la industria de alimentos, especialmente de los camales, es habitual emplear la coagulación química utilizando coagulantes, ya sean de origen orgánico o inorgánico, con el propósito de mejorar la eliminación de la materia orgánica y partículas en suspensión presentes en estas aguas residuales (Otiniano, 2016).^[10] Entre los coagulantes más utilizados para la desestabilización de las partículas coloidales originando una sedimentación primaria, son las sales de aluminio, en específico se utiliza principalmente el Sulfato de Aluminio por su efectividad, rendimiento, accesibilidad y bajo precio, requisitos indispensables para la selección del coagulante más adecuado (Farhaoui, Hasnaoui y Derraz, 2016).^[6]

El objetivo de la coagulación es eliminar la mayoría de las partículas coloidales y suspendidas de las aguas residuales de la superficie, mediante un asentamiento mejorado y se eliminan de la fase líquida por sedimentación. Su efectividad se refleja en su aplicación a gran escala, con más del 70% de los trabajos de tratamiento de agua que dosifican coagulantes como parte de su proceso de tratamiento (Betancourt y Rose, 2004). Los avances en el tratamiento del agua han asegurado que se cumplan los requerimientos cada vez más estrictos sobre los efluentes líquidos residuales. El éxito de tales tratamientos sigue dependiendo de la efectividad del rendimiento de la coagulación, reduciendo la turbidez, color y la materia orgánica de estas aguas (Keeley, Jarvis y Judd, 2014). Es importante destacar que la correcta selección del coagulante y su dosis, junto con la optimización del nivel de pH, no solo resultará en una mejora de las propiedades del agua residual, sino que también

reducirá el tiempo necesario para disminuir la turbidez y reducirá los gastos asociados (Moreno, 2016).^[6]

De lo anterior, según el Informe Mundial sobre **Desarrollo de los Recursos Hídricos de la UNESCO** (2017), se evidencia que una mejora en la gestión de las aguas residuales implica no solamente la disminución de la contaminación en las fuentes de agua, sino también la eliminación de sustancias contaminantes de los flujos de aguas residuales y la reutilización de las aguas tratada.^[37] En conjunto, estas acciones generan beneficios sociales, medioambientales y económicos para la sociedad en su conjunto.

Con las consideraciones previas, en esta investigación se buscará demostrar que el tratamiento primario de aguas residuales del Camal Municipal de Cajamarca, mediante la utilización de sulfato de aluminio al 1%, a dosis debidamente calculadas nos producirá resultados eficaces y satisfactorios lo que permitirá reducir la carga orgánica de estas aguas, disminuyendo la contaminación durante su descarga o disposición final.

1.1.2. Formulación del problema de investigación^[4]

¿Incide el sulfato de aluminio en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca?

1.2. Justificación e importancia^[35]

El Camal Municipal de Cajamarca al ubicarse en la zona urbana de la ciudad y al no contar con una planta de tratamiento para sus aguas residuales o un plan de tratamiento de efluentes, son derivadas directamente al Río San Lucas y al sistema de alcantarillado, constituyéndose en múltiples formas de contaminación ambiental, incumpliendo de esta manera con la normativa legal ambiental vigente.^[3] Por lo cual esta investigación propuso una dosis de solución de sulfato de aluminio al 1% para disminuir la carga orgánica de las aguas residuales del Camal Municipal de Cajamarca para cumplir con la normativa ambiental vigente.^[3] Además, esta investigación se realizó para aportar todos los acontecimientos y resultados observados durante su desarrollo que servirán como base y método de mejora en el tratamiento de aguas residuales de camales existentes y proyectados, contribuyendo

a la **reducción de la** contaminación del medio ambiente, aplicando un método sencillo, factible, **de bajo costo** y resultados admisibles, al de un tratamiento completo. Asimismo, con la aplicación de los resultados de esta investigación se mitigará y prevendrá problemas funcionales del sistema de alcantarillado, la contaminación a los ecosistemas aledaños y ambiente en general y un gran porcentaje de los problemas de salud a la población en el área de influencia del camal. Los potenciales usuarios de la información que generó esta investigación, fueron las entidades públicas y privadas, los ingenieros ambientales, empresas consultoras ambientales (proyectistas), empresas constructoras, otros investigadores y estudiantes, para que puedan realizar análisis y diseños óptimos de tratamientos de aguas residuales en camales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la incidencia del sulfato de aluminio en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Calcular **los niveles de los parámetros físicos** del agua residual del camal antes y después de **la aplicación de sulfato de aluminio**.
[64] ▶
- Calcular los niveles **de los parámetros químicos del agua residual del camal** antes y después de la aplicación de sulfato de aluminio.
[15] ▶
- Determinar la dosis óptima de solución **de sulfato de aluminio al 1%**, la cual logra **la máxima remoción de** carga orgánica.

1.4. Hipótesis

La aplicación **de sulfato de aluminio** **incide en la remoción de la carga orgánica** en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

1.5. Variables

- Variable dependiente: carga orgánica
- Variable independiente: sulfato de aluminio.

1.5.1. Operacionalización de variables

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional		
			Indicadores	Unidades/ Categorías	Tipo de variable
Independiente	Es una sal sólida de fórmula $Al_2(SO_4)_3$, usado a diversas concentraciones para el tratamiento de aguas residuales reduciendo la carga orgánica.	Concentración	Dosis	mg/L	Numérica -Continua
Sulfato de aluminio					
Dependiente	Es el producto de la concentración de determinados parámetros físicos y químicos contaminantes en el agua, en un lugar determinado.	Parámetros físicos	Turbidez	NTU	Numérica -Continua
Carga orgánica			Parámetros químicos	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L
				pH	und

Fuente: Autoría propia.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Farhaoui, Hasnaoui y Derraz (2016) elaboraron un trabajo de investigación titulado “Optimización del proceso de tratamiento de agua mediante el modelado de la dosis de sulfato de aluminio”^[18]. La determinación de la dosis óptima de coagulante es un tema de especial preocupación en los procesos de tratamiento de aguas. La dosificación de coagulante está correlacionada con la calidad del agua cruda relacionada con algunos parámetros (turbidez, pH, temperatura y conductividad)^[3]. El coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio en Marruecos y en muchos otros países en el tratamiento de aguas residuales. Se utiliza principalmente por su efectividad, accesibilidad y bajo precio^[4]. Como práctica común, el sulfato de aluminio se aplica de acuerdo con los resultados de la prueba de jarra^[9]. La principal dificultad es determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio relacionada con las características del agua cruda^[9]. Se utilizan métodos manuales y automáticos para predecir la dosis óptima de coagulante^[11]. El objetivo de este estudio fue proporcionar a los operadores de tratamiento de agua una herramienta que permita predecir y, a veces, reemplazar el método manual (prueba de jarra)^[5]. El modelo se desarrolla sobre la base de datos de procesos actuales registrados en una planta de tratamiento de agua ubicada en el centro de Marruecos (Meknes). Este modelo no lineal está relacionado con los parámetros de turbidez, pH y temperatura. La comparación entre las dosis de sulfato de aluminio medidas y las dosis calculadas por el modelo elaborado mostró un resultado muy interesante. Concluyendo, que el modelado puede reducir el consumo de sulfato de aluminio en más del 10%.^[19] Por lo tanto, el modelo se puede aplicar para determinar las dosis de aluminio en la planta de tratamiento de agua y se puede extender a otros.
- Barajas y León (2015) realizaron un estudio titulado “Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable mediante el uso de una red neuronal artificial”^[3]. Se evidencia que la coagulación y floculación son

etapas relevantes en el tratamiento del agua, pero su eficacia se ve limitada porque la dosificación del coagulante se calcula a través de la Prueba de Jarras o la utilización del Streaming Current Detector. Ambos métodos presentan desventajas importantes, como la incapacidad de considerar los cambios en los parámetros fisicoquímicos del agua en tiempo real y la necesidad de encontrar un punto óptimo de funcionamiento para el equipo, lo que resulta en una dosis adecuada solo para condiciones específicas. El propósito de esta investigación fue determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio utilizando modelos de correlación, como regresiones lineales y polinomiales, y un modelo de Red Neuronal Artificial. Los resultados revelaron que, aunque los Ensayos de Jarras ajustaron el pH y lograron valores de turbidez final tan bajos como 0 NTU, la correlación entre el pH y la dosis de coagulante fue muy débil, con un coeficiente de correlación lineal de 0.17. Esto indica una relación poco significativa entre el pH y la dosis de coagulante, lo que impide predecir un valor óptimo de pH mediante regresiones lineales o polinomiales debido a los errores resultantes. Además, los valores de pH que produjeron los mejores resultados variaron entre 7 y 8, un rango en el cual se observaron las turbideces finales más bajas. Esto sugiere que el pH influye en la eficacia de la coagulación y floculación, ya que ajustarlo dentro de ese rango específico puede llevar a una menor turbidez final. Este rango es un poco más específico que el rango óptimo de sulfato de aluminio, que se sitúa entre 5.5 y 8.

- Yonge (2012) realizó un trabajo de investigación denominado “Una comparación de coagulantes a base de aluminio y hierro para el tratamiento de aguas superficiales en el condado de Sarasota, Florida”, se evaluaron cinco coagulantes diferentes para determinar su efectividad para eliminar la turbidez, el color y el carbono orgánico disuelto (DOC) de un agua residual superficial en el condado de Sarasota, Florida. ⁽¹⁰⁾ Se usaron pruebas de jarras a escala de banco que simularon procesos de coagulación, floculación y sedimentación convencionales. Se utilizaron coagulantes a base de hierro (cloruro férrico y sulfato férrico) y coagulantes a base de aluminio (sulfato de aluminio, cloruro de polialuminio (PACl) y clorhidrato de aluminio (ACH)) para tratar un suministro de agua superficial altamente orgánico

(DOC que oscilaba entre 10 y 30 mg/L), conocido como Cow Pen Slough, ubicado en el centro del condado de Sarasota, Florida.^[3] Se desarrollaron y evaluaron isóneas que representan las eficiencias de eliminación de color y DOC en función del pH y la dosis de coagulante. Los resultados mostraron que el cloruro férrico y la ACH obtuvieron las eliminaciones más altas de DOC (85% y 70%, respectivamente) y color (98% y 97%, respectivamente) a las concentraciones de dosis más bajas (120 mg / L y 100 mg / L, respectivamente). El sulfato férrico fue efectivo en la eliminación de DOC pero requirió una concentración más alta de coagulante y fue el coagulante menos efectivo para eliminar el color. Los coagulantes tradicionales a base de hierro y sulfato de aluminio tenían una baja eliminación de turbidez y a menudo se observaba que añadían turbidez al agua.^[18] PACI y ACH tuvieron porcentajes de eliminación similares para el color y la turbidez, logrando porcentajes de eliminación consistentes de 95% y 45%, respectivamente, pero PACI fue menos efectivo que ACH en la eliminación de compuestos orgánicos.

- Zhou, Liang y Wang (2008) realizaron una investigación titulada “Descolorización y eliminación de DQO de efluentes de aguas residuales de levadura secundaria por coagulación con sulfato de aluminio”,^[9] el proceso de coagulación con sulfato de aluminio se empleó como un método de tratamiento avanzado para aguas residuales de levadura tratadas biológicamente en este documento. Se probaron experimentalmente factores como la dosis de coagulante de pH de la solución, coagulantes (floculantes) y condiciones de mezcla que influyen en la DQO y la eficiencia de eliminación del color.^[10] También se estudió el mecanismo de coagulación con sulfato de aluminio. Los resultados mostraron que la dosis óptima del coagulante aumenta con el aumento del pH inicial. En el rango de pH probado, el pH inicial apropiado debe ser superior a 7 para garantizar la eliminación efectiva de los colorantes. Las condiciones de mezcla, particularmente la velocidad de mezcla, tienen algún efecto sobre la eficiencia de la coagulación. Se determinó que la velocidad apropiada estaba entre 300 y 500 rpm. En condiciones óptimas, la eficiencia de eliminación de DQO y color alcanzó el 72% y el 90% respectivamente.

- Geng (2005) desarrolló un estudio acerca de la ^[15] “Aplicación del análisis de flóculos para la optimización de la coagulación en la planta de tratamiento de agua de Split Lake”, ^[6] el éxito del tratamiento de aguas residuales superficiales depende en gran medida de la efectividad del rendimiento del coagulante. El sulfato de aluminio (alumbre), es el coagulante más utilizado en plantas de tratamiento de agua en Canadá. ^[49] El cloruro de polialuminio (PACI), un coagulante polimérico de aluminio relativamente nuevo que se usa cada vez más en plantas de tratamiento de agua, tiene muchas ventajas sobre el alumbre convencional. Sin embargo, la reacción de hidrólisis de PACI es bastante compleja y su acción no se comprende completamente. ^[15] En esta investigación, se realizó una serie de pruebas de jarras a escala de banco con sulfato de aluminio y PACI. ^[10] Los flóculos de coagulación del sulfato de aluminio y PACI se analizaron para la evaluación del rendimiento de los coagulantes a 19 ° C y 5 ° C para la planta de tratamiento de agua de Split Lake. Los resultados de esta investigación indicaron que las propiedades de sedimentación de los flóculos PACI fueron ligeramente superiores a las de los flóculos de sulfato de aluminio, especialmente a la temperatura más baja. El tamaño promedio de los flóculos PACI fue relativamente más pequeño que el de los flóculos de sulfato de aluminio. ^[26] La densidad de los flóculos PACI podría ser mayor que la de los flóculos de sulfato de aluminio. Y el número de flóculos de PACI asentados podría ser mayor que el de los flóculos de alumbre asentados. Los efectos de la temperatura en los flóculos de sulfato de aluminio y los flóculos PACI fueron diferentes. El tamaño de los flocs de sulfato de aluminio disminuyó a 5 ° C. Esto se debe probablemente a la existencia de especies de aluminio monomérico en solución acuosa de alumbre. El tamaño de los flóculos PACI no cambió significativamente a 5 ° C. ^[3] Concluyendo que el tratamiento de aguas mediante el cloruro de polialuminio y el sulfato de aluminio presentó ligeramente mejores resultados especialmente en climas fríos de hasta 5°C.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Galindo (2018) llevó a cabo una investigación titulada ^[15] “Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo B en la planta de tratamiento de agua Yurajhuanca - Emapa Pasco”. Durante un período específico, se realizaron pruebas de tratamiento de agua utilizando el coagulante sulfato de aluminio tipo B con el objetivo de identificar las dosis óptimas necesarias para eliminar la turbidez y el color en varias muestras de agua recopiladas. Cada muestra recopilada mostró valores significativos de turbidez y color, con el propósito de obtener un rango amplio para el análisis y determinar la dosis ideal de sulfato de aluminio. El método utilizado para determinar estas dosis óptimas fue el ensayo de jarras. Los resultados de este ensayo demostraron una eliminación efectiva de los parámetros físico-químicos analizados y su cumplimiento con las normativas peruanas vigentes. ^[3] Se concluyó que durante los meses de mayor caudal, las dosis óptimas de sulfato de aluminio granulado variaban entre 29 mg/L y 34 mg/L, con un promedio de 31.5 mg/L. ^[37]
- Castro (2017) realizó un estudio de investigación titulado ^[70] “Disminución de la carga orgánica del efluente del camal municipal del porvenir mediante el tratamiento con sulfato de aluminio al 1 %”, el objetivo principal fue determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio al 1 % necesaria para disminuir al máximo la carga orgánica presente en el efluente del camal municipal El Porvenir. Esta investigación se enmarca en un enfoque aplicado y utiliza un diseño experimental cuantitativo. El proceso incluyó la evaluación de ocho muestras de 300 mL de agua residual del camal, a las cuales se les añadió diferentes cantidades de sulfato de aluminio al 1 %: 6 mL, 12 mL, 18 mL, 24 mL, 30 mL, 36 mL, 42 mL y 48 mL, correlativamente, utilizando el método de test de Jarras. ^[12] Los resultados mostraron que la mayor reducción de carga orgánica se logró con la muestra a la que se le agregaron 36 mL de sulfato de aluminio al 1 %, con una disminución del 95.34 % en la Demanda Bioquímica de Oxígeno y del ^[18] 95.85 % en la Demanda Química de Oxígeno. ^[23]

- ^[17] Luna (2017) desarrolló una tesis de investigación titulada “Influencia del pH en la coagulación - sedimentación primaria de aguas residuales de un camal”, se propuso analizar cómo el pH afecta el proceso de coagulación y sedimentación en las aguas residuales de un camal. Además, buscó identificar los coagulantes adecuados para este proceso y determinar el valor de pH óptimo que maximiza la coagulación y sedimentación primaria con los coagulantes seleccionados. Se llevó a cabo un seguimiento del proceso de faenado en el camal para comprender mejor su funcionamiento y la composición de sus aguas residuales. Utilizando esta información, se diseñó un sistema de tratamiento a pequeña escala para el agua residual, y se realizaron pruebas de coagulación utilizando diferentes coagulantes, valores de pH y concentraciones variadas del coagulante elegido. Los resultados demostraron que al mantener un pH de 4 y utilizando sulfato de aluminio como coagulante, es posible eliminar hasta el 93% de la turbidez, lo que permite la eliminación de la coloración rojiza durante la fase de coagulación y sedimentación primaria.

- ^[5] Murrieta (2017) elaboró un estudio titulado denominada “Determinación de la influencia del proceso de coagulación - floculación en la calidad del agua residual del camal municipal de la ciudad de Rioja - San Martín”. El objetivo principal fue verificar la eficacia y los beneficios del tratamiento físico-químico mediante coagulación y floculación en el tratamiento de aguas residuales industriales, específicamente los efluentes del camal municipal de Rioja, que estaban siendo descargados sin tratamiento previo. Inicialmente, se determinaron las concentraciones iniciales de cinco parámetros contaminantes: la turbidez, el pH, los SST, el oxígeno disuelto y nitratos. Luego, se identificaron las condiciones óptimas de velocidad, dosis de coagulante, floculante y tiempo de sedimentación para lograr la máxima reducción de los parámetros mencionados. Se emplearon dos tipos de reactivos coagulantes, sulfato de aluminio y cloruro férrico, ambos al 1%. Los resultados indicaron mínimas en la eficacia de ambos coagulantes. En la Etapa I (sulfato de aluminio), se obtuvieron resultados para la turbidez de 4.85 NTU, pH de 7.24, SST 333.6 mg/L, oxígeno disuelto 9.16 mg/L, mientras que en la Etapa II (cloruro férrico), se registraron valores de 15.46

NTU, pH 7.65, oxígeno disuelto 9.45 mg/L, SST 224.7 mg/L, nitratos 6.00 mg/L. Para el sulfato de aluminio, se logró una reducción significativa de la turbidez (casi el 99.1%^[4]) con una dosis de 6 mL, **velocidad de mezcla rápida de 200 RPM, mezcla lenta de 63 RPM**, dosis de floculante de 1 mL y **tiempo de sedimentación de 25 minutos**. En el caso del cloruro férrico (dosis de 2 mL), se alcanzó una reducción del 96.4% de la turbidez, **con una velocidad de mezcla rápida de 300 RPM, mezcla lenta de 75 RPM**, dosis de floculante de 0.75 mL^[4] y **tiempo de sedimentación de 35 minutos**. En conclusión, se evidenció que el proceso de coagulación-floculación tiene un impacto eficiente y positivo en la reducción o eliminación de los parámetros evaluados, logrando excelentes resultados, especialmente en la reducción de turbidez.

- Otiniano (2016) realizó una investigación titulada ^[4] "Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo", se propuso determinar cómo afecta el proceso de coagulación-floculación en la eliminación de Sólidos Suspendidos Totales de una muestra tomada del efluente final del Camal Municipal El Porvenir. El objetivo era lograr la mayor reducción porcentual posible, considerando tres diferentes niveles de pH (4, 6 y 8), diversas cantidades de coagulante Sulfato de Aluminio (40 mL, 50 mL y 60 mL) y floculante aniónico (1 mL, 2 mL y 3 mL). La cuantificación físico-química de la muestra confirmó que excedía el Valor Máximo Admisible (VMA) para el parámetro de Sólidos Suspendidos Totales según el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. Los resultados indicaron que la combinación más efectiva para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales fue alcanzada a pH 6, con una dosis de 60 mL de coagulante Sulfato de Aluminio y 3 mL de floculante aniónico, logrando una eliminación del 83.66%.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas residuales

Se refieren a aguas que han experimentado cambios en sus propiedades naturales debido a la influencia de actividades humanas, y debido a su calidad, necesitan ser tratadas antes de poder ser reutilizadas, liberadas en un entorno acuático natural o descargadas en el sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

^[33] ▶ 2.2.1.1. Tipos de aguas residuales

2.2.1.1.1. Aguas residuales industriales

Se refieren a las que se generan a partir del progreso de un proceso de producción, abarcando las que provienen de la minería, la agricultura, la energía, la agroindustria y otras actividades similares (OEFA, 2014).

2.2.1.1.2. Aguas residuales domesticas

Se refieren a las que se generan en áreas residenciales y comerciales que incluyen residuos fisiológicos y otros generados por la actividad humana, los cuales deben ser gestionados de manera apropiada (OEFA, 2014).

2.2.1.1.3. Aguas residuales municipales

Se refieren a las aguas residuales provenientes de hogares que pueden estar mezcladas con aguas de lluvia o aguas residuales industriales tratadas previamente, con el propósito de ser aceptadas en sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

[10] ▶

De acuerdo con el informe del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014), la progresión en la producción de aguas residuales en Perú se representará siguiendo el gráfico mostrado en la figura 3:

[6] ▶

Figura 3
Generación de aguas residuales en el Perú al año 2024

Fuente: OEFA (2014).

2.2.1.2. Aguas residuales de camales o mataderos

Las aguas residuales procedentes de mataderos incluyen las que provienen tanto de los propios mataderos como de las instalaciones dedicadas al procesamiento de carne y sus derivados. Las descargas de los mataderos ocurren en el suelo, donde se lleva a cabo el sacrificio de animales, así como el lavado y despiece de la carne. Los residuos generados presentan una tonalidad marrón-rojiza, contienen una elevada cantidad de materia orgánica y contienen cantidades significativas de partículas sólidas en suspensión (Sans y Ribas, 1989).

Figura 4
Aguas residuales del camal municipal de Cajamarca

Fuente: La Beta Radio (2015).

2.2.1.3. Parámetros para caracterizar aguas residuales

2.2.1.3.1. Parámetros físicos

Entre los principales parámetros físicos se especifican a los siguientes:

a. Turbidez

La turbidez se refiere a la capacidad de los materiales presentes en el agua para obstruir la penetración de la luz. Este fenómeno puede ser causado por diversas razones, siendo las más importantes la contaminación resultante de desechos orgánicos o industriales, así como la erosión natural de las cuencas que aporta sedimentos (Romero, 2005). Cuanto mayor sea la cantidad de partículas sólidas en suspensión en el líquido, mayor será el nivel de turbidez.

^[18] ▶
b. Color

El color presente en las aguas residuales proviene de sólidos en suspensión, material coloidal y sustancias disueltas. Se le conoce como color aparente cuando se trata de sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. Por otro lado, el color verdadero se refiere al color causado específicamente por sustancias disueltas y coloidales (Romero, 2005).

c. Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión en el agua consisten en partículas que permanecen dispersas en el líquido debido a su naturaleza coloidal. Estos sólidos no se depositan por la acción de la gravedad cuando el agua está en reposo, ya que las partículas coloidales tienen una carga eléctrica similar, lo que las mantiene suspendidas debido a la repulsión electrocinética. Esto ocurre gracias a un movimiento constante y desordenado conocido como "movimiento browniano" (Toasa, 2012).

2.2.1.3.2. Parámetros químicos

Entre los principales parámetros químicos se especifican a los siguientes:

a. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO se expresa en mililitros por litro, se refiere al oxígeno consumido por sustancias presentes en el agua que pueden oxidarse en ciertas condiciones de funcionamiento específicas. El cálculo está relacionado con la estimación de la cantidad de material que puede oxidarse presente en el agua (Maza, 2013).

[3] ▶
b. pH

Es un parámetro utilizado para evaluar el **grado de acidez o alcalinidad de una** sustancia (Murrieta, 2017).^{[20] ▶}

Se trata de un factor fundamental **para evaluar la calidad del agua** residual, ya que **los procesos biológicos** de tratamiento del agua ocurren en un rango específico y delicado (entre 5,5 y 9,5), aunque algunos microorganismos pueden sobrevivir en **valores fuera de este** intervalo (López, 2011).

^{[0] ▶} 2.2.2. Partículas coloidales

Las partículas coloidales en el agua suelen tener un diámetro que **oscila entre** 1 y 1.000 milimicrómetros, y su comportamiento está condicionado por su **naturaleza y procedencia**. Estas **partículas, que se encuentran en el agua**, son principalmente **responsables de la presencia de turbidez** (OPS, 2014).^{[0] ▶}

En líneas generales, los coloides **se caracterizan por tener** un tamaño que se sitúa **entre las partículas presentes en una solución verdadera y las partículas en suspensión**. La figura 5 proporciona una representación visual de las dimensiones aproximadas de estas partículas y su distribución.^{[0] ▶} Es importante destacar **que, en el caso de los coloides, sus dimensiones** están determinadas por sus propias características naturales (OPS, 2014).

El agua contiene tres categorías principales de contaminantes: **físicos, químicos y biológicos**.^{[10] ▶} En términos físicos, los sólidos totales que constituyen impurezas en el agua pueden dividirse en partículas no filtrables o suspendidas, partículas filtrables o disueltas, y una tercera categoría intermedia que se refiere a los coloides (Oré, 2017).

En términos generales, los coloides no poseen un tamaño definido y su análisis suele centrarse en sus propiedades desde una perspectiva fisicoquímica. Un material coloidal puede permanecer suspendido durante un largo período,

hasta 755 días, por lo que resulta relevante alterar esta situación.^[3] Estos coloides generan suspensiones que permanecen estables, lo que evita su sedimentación natural, y, además, son los responsables de la turbidez y el tono de color en el agua (Oré, 2017).^[8]

Figura 5
Distribución de tamaños de las partículas en el agua

Fuente: OPS (2014).^[2]

Los coloides se caracterizan por tener una gran área de contacto entre la parte sólida y la parte líquida, y generalmente cuentan con una carga eléctrica negativa en su superficie.^[2] Estas cargas, conocidas como cargas primarias, atraen los iones positivos presentes en el agua, que se adhieren firmemente a las partículas y, a su vez, atraen a su entorno iones negativos acompañados de una cantidad mínima de iones positivos (Oré, 2017).^[0]

Figura 6
Configuración esquemática de la doble capa eléctrica

Fuente: OPS (2014).

^[0] ▶
2.2.2.1. Tipos de coloides de acuerdo con su comportamiento en el agua

En el ámbito del tratamiento del agua, es frecuente mencionar los sistemas coloidales como repelentes del agua cuando no se mezclan con ella, y como afines al agua cuando tienen una afinidad por esta (OPS, 2014).

Los coloides hidrófobos no repelen del todo el agua, ya que retienen una fina capa de agua en su superficie. ^[0] ▶ En los sistemas coloidales hidrófobos, las características de la superficie de las partículas desempeñan un papel fundamental, especialmente en aguas naturales donde pueden encontrarse diversos tipos de arcillas (OPS, 2014).

Las arcillas y ciertos óxidos metálicos son de gran relevancia en el proceso de purificación del agua debido a su naturaleza coloidal hidrófoba. Estos materiales se distinguen por su tendencia a ser termodinámicamente inestables en relación a la creación de cristales de mayor tamaño que no poseen propiedades coloidales (OPS, 2014).
^[0] ▶

Los coloides hidrofílicos se refieren a soluciones verdaderas que pueden estar compuestas por moléculas grandes o por agregados de moléculas pequeñas, conocidos como micelas, que tienen dimensiones dentro de los límites coloidales.^[10] Esta categoría abarca una amplia gama de polímeros, tanto sintéticos como naturales, además de diversas sustancias de importancia biológica, como proteínas, ácidos nucleicos, almidones y otras macromoléculas.^[10] Las controversias entre los investigadores acerca de si el color orgánico en el agua es una solución verdadera o un coloide pueden resolverse considerando que el color orgánico es, en realidad, un coloide hidrofílico formado por moléculas grandes en solución.^[10] La diferencia principal entre las soluciones de coloides hidrofílicos y las de moléculas más pequeñas (micelas) radica en sus propiedades inherentes debido a su tamaño, lo que implica enfoques distintos en los métodos de estudio (OPS, 2014).

2.2.2.2. Propiedades de los coloides

Es posible analizar los coloides a través de diversas características. Según el Organismo Panamericano de la Salud (2014) las principales se presentan a continuación:

^[10] a. Propiedades cinéticas

Las cinéticas se refieren a las propiedades que describen cómo las partículas coloidales se mueven en el agua y determinan su comportamiento.

^[8]

Movimiento browniano

Las partículas coloidales en la fase líquida exhiben un movimiento constante y variado conocido como movimiento browniano.^[10] La teoría cinética atribuye este fenómeno al impacto desigual y aleatorio de las partículas suspendidas por las moléculas del líquido.^[8] A medida que la temperatura del líquido se incrementa, las moléculas ganan más energía cinética, lo que provoca un aumento en el movimiento browniano.^[10] Es esencial tener presente que el movimiento browniano

solo puede dar cuenta de la estabilidad de las dispersiones coloidales más pequeñas.

[0] ▶

Difusión

Debido al movimiento constante de las moléculas o partículas en el agua, conocido como movimiento browniano, las partículas coloidales tienden a dispersarse en todo el sistema hídrico, lo que se conoce como difusión. Es importante destacar que la velocidad de difusión es inferior a la velocidad promedio de las partículas en el movimiento browniano. En resumen, debido al constante agitación de las moléculas o partículas en el agua que caracteriza al movimiento browniano, las partículas coloidales tienden a extenderse ampliamente en el agua a través del proceso de difusión, siendo esta velocidad de difusión más lenta que la velocidad promedio del movimiento browniano.

b. Propiedad de superficie: adsorción

Según se evidencia en la tabla 2, las partículas coloidales presentan una destacada superficie específica, que se define como la relación entre la superficie y la masa. Es importante destacar cómo la reducción en el tamaño de las esferas afecta tanto al área superficial total como al tiempo necesario para que sedimenten. Esta amplia superficie específica confiere a los coloides una notable capacidad de absorción, lo que significa que no es viable sedimentar las partículas coloidales sin un tratamiento químico previo.

[9] ▶

Tabla 2
Efecto al disminuir el tamaño de las esferas

Diámetro de la partícula (mm)	Escala de tamaños	Área superficial total a	Tiempo requerido para sedimentar b
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 seg.
31	Arena gruesa	31.50 cm ²	3 seg.
0.1	Arena fina	315.00 cm ²	38 seg.
0.01	Sedimento	3150.00 cm ²	33 min.

0.001	Bacteria	3.15 m2	55 horas
0.0001	Partícula Coloidal	31.50 m2	230 días
0.00001	Partícula Coloidal	0.283 ha	6.3 años
0.000001	Partícula Coloidal	2.83 ha	63 años

^[0] a. Área de partículas del tamaño indicado, producida a partir de una partícula de 100 mm de diámetro y gravedad específica de 2.65.

^[0] b. Cálculos basados en esferas con gravedad específica de 2,65 que sedimentan 30 cm.

Fuente: OPS (2004).

2.2.2.3. Naturaleza de la turbiedad y el color

^[0] a. Turbiedad

Las partículas que ocasionan la opacidad del agua consisten en elementos suspendidos, como la arcilla, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente distribuida, plancton, bacterias y otros microorganismos. Estas partículas responsables de la turbidez pueden ser de tipo coloidal o constituir material insoluble de mayor tamaño (OPS, 2014).

^[0] b. Color

El color presente en el agua proviene principalmente de partículas coloidales orgánicas, aunque algunos expertos plantean la posibilidad de que esté completamente disuelto en el agua. Este color no solo se origina por la descomposición de sustancias naturales, sino que también puede estar relacionado con hidróxidos metálicos, como el hierro, y compuestos orgánicos desconocidos presentes en los residuos provenientes de hogares e industrias (OPS, 2014).

^[0] 2.2.2.4. Estabilidad e inestabilidad de los coloides

El Organismo Panamericano de la Salud (2014) menciona que las suspensiones coloidales están sujetas a ser estabilizadas y desestabilizadas.

^[0]

De las fuerzas de estabilización o repulsión podemos mencionar las siguientes:

a) La carga de las partículas.
[0] ▶

b) La importancia de la hidratación suele ser significativa en los coloides hidrofílicos, aunque en esta situación específica, su relevancia es menor.
[0] ▶

Los factores de atracción o desestabilización son los siguientes:
[0] ▶

a) La gravedad, es de poca importancia en el proceso de desestabilización de las partículas coloidales y, por lo tanto, no será abordada en detalle.
[0] ▶

b) El movimiento browniano, posibilita el contacto entre las partículas, lo cual es esencial para la desestabilización.
[0] ▶

c) La fuerza de Van der Waals, que proviene de la interacción eléctrica, es una fuerza de baja intensidad, pero desempeña un papel importante, ya que representa la fuerza principal que atrae a las partículas coloidales. Estas fuerzas atractivas, que disminuyen rápidamente a medida que aumenta la distancia entre las partículas, se originan debido a la presencia de dipolos permanentes o inducidos en dichas partículas.

La estabilidad de una suspensión coloidal está vinculada a la teoría de cómo interactúan energéticamente las partículas en función de su distancia entre sí. Además de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas coloidales, también pueden influir las fuerzas de Van der Waals. Es importante destacar que las fuerzas de Van der Waals no dependen de la carga neta de los coloides y no se ven afectadas por el pH ni por otras características de la fase acuosa, pero solo operan a distancias muy cortas. A medida que las partículas se acercan, la fuerza de repulsión aumenta para evitar su unión. Sin embargo, si se acercan lo suficiente y superan la barrera de energía,

prevalecerá la fuerza de atracción de Van der Waals, lo que conducirá a la unión de las partículas. En ese momento, se dice que el coloide ha perdido su estabilidad (Oré, 2017).

^[28] 2.2.3. Coagulación

Se trata de un procedimiento que provoca la desestabilización química de las partículas coloidales al contrarrestar las fuerzas que las mantienen alejadas, logrado mediante la introducción de coagulantes químicos y la aplicación de energía de agitación (Oré, 2017).

La coagulación, aunque es altamente efectiva como tratamiento, puede resultar costosa cuando no se realiza adecuadamente. Es el enfoque universal debido a su capacidad para eliminar una amplia variedad de sustancias de diferentes tipos y pesos a un costo menor en relación a otros métodos. El término "coágulo" se utiliza para describir las reacciones que ocurren al introducir un reactivo químico, conocido como coagulante, en el agua, lo que genera la formación de productos insolubles. Este proceso de coagulación comienza al añadir el coagulante al agua y tiene una duración de solo fracciones de segundo (Oré, 2017).

^[3]

Un proceso de coagulación incorrectamente ejecutado puede ocasionar una rápida disminución en la calidad del agua y generar costos operativos innecesarios. De lo cual, es importante tener en cuenta que la cantidad de coagulante utilizada afecta directamente el desempeño de las unidades de decantación y que una clarificación adecuada es imposible si la cantidad de coagulante no está ajustada correctamente (Murrieta, 2017).

2.2.3.1. Etapas de la coagulación

Según Stumm y O'melia (1968) el proceso de coagulación se realiza en varias etapas:

- 1) La descomposición de los iones coagulantes con múltiples valencias y su posterior unión para formar especies hidrolíticas con varios núcleos.^[0]

- 2) La **desestabilización del coloide se alcanza mediante la adsorción de las especies hidrolíticas en la frontera de la solución sólida.**
- 3) Agrupamiento de partículas inestables a través de la creación de un vínculo entre ellas que implica el traslado de estas partículas y las reacciones químicas resultantes.
^[9] ▶
- 4) Agrupación de partículas que han perdido su estabilidad gracias al movimiento **de las partículas y las fuerzas de atracción de Van der Waals.**
- 5) La formación de flóculos.
^[9] ▶
- 6) **Precipitación del hidróxido.**

Ciertas etapas de este proceso suceden de forma consecutiva, algunas se superponen parcialmente y otras pueden incluso tener lugar al mismo tiempo. Es posible asumir que las diversas fases de esta reacción pueden ser gestionadas en cierta medida, dependiendo de las condiciones químicas específicas (figura 7).

^[9] ▶

Figura 7
Modelo esquemático del proceso de coagulación

Fuente: Stumm y O'elia (1968).

2.2.3.2. Mecanismos de coagulación predominantes

El informe del Organismo Panamericano de la Salud (2014), señala que la coagulación a través de sales inorgánicas principalmente ocurre a través de dos procesos principales:

[01] ▶

- Adsorción de las especies hidrolíticas por el coloide, lo que produce la neutralización de la carga.

[01] ▶

- Coagulación de barrido, en la que se originan las interacciones entre el coloide y el hidróxido precipitado.

[2] ▶

a. Coagulación por adsorción

Cuando se introduce sulfato de aluminio o sales de hierro en el agua bajo condiciones específicas de cantidad de coagulante y pH, se generan diversas formas hidrolizadas de especies solubles.

[0] ▶

Para el sulfato de aluminio, las especies hidrolizadas que se originan son Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ y $Al(OH)_4$, las cuales son consideradas con frecuencia para representar todo el sistema.

Figura 8
Coagulación por adsorción

Fuente: OPS (2004).

Este proceso se conoce como neutralización de carga, también referido como desestabilización por adsorción. Cuando hay una gran cantidad de coloides en el agua, están más cerca entre sí, lo que aumenta la fuerza de atracción y disminuye la energía necesaria para

desestabilizarlos, lo que a su vez reduce el potencial zeta resultante (figura 9).

[9] ▶

Figura 9
Potencial zeta en la coagulación por adsorción

Fuente: OPS (2004).

b. Coagulación por barrido

Cuando se utilizan cantidades suficientemente elevadas de alúmina, se produce la formación de un precipitado de hidróxido de aluminio que, en términos físicos, arrastra a las partículas coloidales fuera de la suspensión; este proceso se le llama coagulación de barrido. La figura 10 muestra de manera esquemática este mecanismo, demostrando que la coagulación de las partículas coloidales en el tratamiento del agua está principalmente influenciada por la química del hidróxido de aluminio y sus sustancias precursoras hidrolíticas.

[9] ▶

Figura 10
Coagulación de barrido o arrastre de partículas

Fuente: OPS (2004).^[9]

Este tipo de coagulación suele ocurrir en situaciones donde el agua está transparente y la cantidad de partículas coloidales es baja.^[9] En esta circunstancia, las partículas quedan atrapadas debido a un exceso de precipitado de hidróxido de aluminio, ya que la distancia entre ellas es mayor y, como resultado, las fuerzas de atracción son más débiles.^[9] Esto significa que se necesita una mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas, lo que se traduce en un aumento del potencial zeta y en un tiempo de reacción que puede llegar a ser de hasta 7 segundos (ver figura 11).^[9]

Figura 11
Potencial zeta en la coagulación por barrido

Fuente: OPS (2004).

^[2] ▶ 2.2.3.3. Factores que influyen en el proceso de coagulación

Según el Organismo Panamericano de la Salud (2014) los principales factores son los siguientes:

^[0] ▶ a. Factores de mayor influencia en el desarrollo del proceso
Los elementos que más influyen en el desarrollo del proceso son la calidad del agua cruda en su estado original o después de ser utilizada, así como las propiedades químicas que se presenten.

^[0] ▶ a.1. La calidad del agua cruda

Los factores más relevantes para la eficacia del proceso están relacionados con las propiedades del agua cruda, como la cantidad de coloides (generalmente evaluada a través de la turbidez o el color del agua), la alcalinidad, el pH, el tamaño de las partículas y la temperatura.

^[0] ▶

Concentraciones de coloides, alcalinidad y pH

Se muestran cuatro escenarios distintos, los cuales varían según las diferencias en la presencia de coloides en el agua.

^[0] ▶

Alta concentración de coloides y alcalinidad baja

Es el sistema más sencillo de manejar, ya que **que solo se requiere identificar un parámetro químico**: la cantidad adecuada u óptima de coagulante. La desestabilización ocurre al adsorber rápidamente especies hidrofílicas cargadas positivamente, generadas al instante en niveles de pH ácido (generalmente entre pH 4 y 6, dependiendo del tipo de coagulante utilizado).

[0] ▶

Alta concentración de coloides y alcalinidad alta

En esta situación, la desestabilización ocurre de nuevo **mediante la adsorción y neutralización de la carga** utilizando niveles **de pH** que son neutros o ligeramente ácidos. **La neutralización de la carga se facilita, ya que el pH suele mantenerse en una zona neutral, donde los polímeros de hidróxidos metálicos no poseen una carga muy elevada.**

[0] ▶

Baja concentración de coloides y alcalinidad alta

En este caso, **se lleva a cabo la coagulación** utilizando una cantidad relativamente mayor de coagulantes para atrapar **las partículas coloidales**. Como opción alternativa, **se puede incluir arcilla o bentonita para incrementar la concentración de partículas en suspensión** y promover el contacto entre ellas. **La desestabilización se lograría mediante la adsorción y la neutralización de la carga en este contexto.**

[0] ▶

Baja concentración coloidal y alcalinidad baja

En estos sistemas, **la coagulación se vuelve más desafiante**. La coagulación mediante captura se complica debido a que la adición del coagulante disminuye el pH, lo que impide la formación de **hidróxidos**. Del mismo modo, la coagulación mediante adsorción también presenta dificultades, **ya que la concentración coloidal es demasiado baja para permitir un contacto efectivo entre partículas.** Para lograr una coagulación eficaz, es necesario añadir **alcalinidad adicional y, preferiblemente, bentonita o arcilla**

Además, la viscosidad del agua aumenta a medida que la temperatura disminuye, y dado que esto está inversamente relacionado con la agitación pericinetica de las partículas, también disminuye el fenómeno de transporte. El rango de pH óptimo también varía con la temperatura y disminuye a medida que esta disminuye.

[0] ▶

Se ha observado que en el intervalo de temperaturas de 10 a 40 °C, la eficiencia mejora a medida que la temperatura aumenta debido al aumento en la tasa de colisiones entre las partículas. En este rango, la turbidez y la alcalinidad son factores importantes a considerar.

a.2 Variables químicas

Las variables clave en el proceso químico son la dosis óptima, el nivel adecuado de pH y la concentración óptima de agente coagulante.

a.2.1. Dosis óptima

De acuerdo con López (2018), se puede apreciar con claridad en la figura 12, la relación entre la dosificación del coagulante y la variación de la turbiedad residual. Las curvas de coagulación se pueden categorizar en cuatro zonas distintas:

Zona 1: La cantidad de coagulante utilizada no es suficiente para causar la coagulación de las partículas, lo que significa que estas permanecen estables.

Zona 2: Aumentando la cantidad de coagulante, se observa una rápida unión de los coloides.

Zona 3: Si seguimos aumentando la cantidad de coagulante, es posible que los coloides vuelvan a estabilizarse en ciertos niveles de pH.

Zona 4:^[2] Al aumentar aún más la cantidad de coagulante hasta alcanzar una sobresaturación, se produce nuevamente una rápida precipitación de los coagulantes, lo que tiene un efecto de barrido, arrastrando consigo las partículas que componen la turbidez en su descenso.

Figura 12
Representación esquemática de los tipos de zonas al aplicar dosis de coagulante

Fuente: López (2018).^[4]

De acuerdo con Andía (2000), la cantidad de coagulante utilizada tiene un impacto directo en la efectividad del proceso de coagulación de la siguiente manera:

^[4]

Cuando se utiliza una cantidad insuficiente de coagulante, no se logra neutralizar por completo la carga de las partículas, lo que resulta en la formación de microflóculos en cantidades mínimas y, como resultado, se observa una alta turbidez residual.

^[28]

Por otro lado, el uso de una cantidad excesiva de coagulante provoca un cambio en la carga de las partículas, lo que conduce a la formación de numerosos microflóculos de tamaño muy reducido, los cuales sedimentan a velocidades

[43] ▶

extremadamente lentas, lo que también resulta en una turbidez residual significativamente alta.

La elección del tipo de coagulante y la cantidad óptima a aplicar se determina mediante pruebas de jarras.

a.2.2 pH óptimo

El nivel de acidez, conocido como pH, es una consideración importante cuando se trata de la coagulación del agua. Cada tipo de agua tiene un rango de pH ideal para que la coagulación ocurra de manera eficiente, y esto depende de los iones presentes y de la alcalinidad del agua. El rango de pH adecuado varía según el tipo de coagulante utilizado y la naturaleza del agua que se va a tratar. Si la coagulación se realiza fuera de este rango óptimo de pH, se requiere una mayor cantidad de coagulante para lograr el efecto deseado. Por ejemplo, para las sales de aluminio, el rango de pH ideal para la coagulación es de 6.5 a 8.0, mientras que, para las sales de hierro, el rango óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades (Andía, 2000).

[01] ▶

En términos generales, el pH óptimo para la coagulación es más bajo (4-6) cuando se trata de aguas con coloración, en comparación con aguas que tienen una mayor turbidez (6.5-8.5). Por lo general, las sales férricas son más efectivas en un rango más amplio de valores de pH en comparación con las sales de aluminio.

a.2.3. Concentración óptima

Investigaciones llevadas a cabo por Jeffcoat y Single en 1975 demostraron que las condiciones óptimas para eliminar la turbidez se logran al emplear soluciones de sulfato de aluminio bastante diluidas. No obstante, cuando las

concentraciones son inferiores al 0,1%, la eficacia en la eliminación de la turbidez disminuye significativamente debido a la posibilidad de que el sulfato de aluminio se hidrolice antes de su aplicación.

[4] ▶

Por lo tanto, se recomiendan valores en el rango de 1 a 2% como los ideales para utilizar en proyectos o en los mecanismos de operación de plantas de tratamiento.

[0] ▶

En un estudio sobre coagulación, floculación y sedimentación llevado a cabo por Mendes en 1989 como parte de su tesis de doctorado, utilizando aguas de diversas calidades con color y turbidez reales, se concluyó que la concentración de la solución de sulfato de aluminio puede influir en la eficiencia de la eliminación de flóculos, especialmente en el proceso de coagulación por barrido, dependiendo de la calidad del agua. Esta influencia es más notable a velocidades de sedimentación relativamente bajas, inferiores a 1 cm/min. No se observó una influencia significativa en velocidades de sedimentación entre 1,5 y 7,0 cm/min en el proceso de coagulación por adsorción y neutralización de carga.

[3] ▶

Solamente al llevar a cabo pruebas de jarras utilizando el agua a tratar, será posible determinar la concentración óptima a emplear en cada situación, ya que la concentración del coagulante en la solución puede ser ajustada de manera sencilla en las plantas de tratamiento de agua.

[4 5] ▶
b. Mezcla

La efectividad de la coagulación depende de la intensidad y uniformidad de la agitación aplicada a la masa de agua durante la adición del coagulante. Si la agitación es desigual, puede resultar en áreas con una concentración de coagulantes significativamente mayor

que otras, dejando algunas regiones con una cantidad insuficiente o nula de coagulantes.^[45] Por lo que, es importante garantizar que la agitación sea uniforme y vigorosa en toda la masa de agua para asegurar una mezcla adecuada entre el agua y el coagulante, permitiendo así la correcta neutralización de las cargas a nivel químico (Andía, 2000).

^[3]

Durante el proceso de coagulación y floculación, se lleva a cabo la combinación de productos químicos en dos fases distintas.^[3] En la primera fase, se realiza una mezcla vigorosa y breve, que no supera los 60 segundos, conocida como mezcla rápida. Esta etapa tiene como objetivo dispersar completamente el coagulante en el agua que se va a tratar. En la segunda fase, la mezcla es más suave y tiene como finalidad el desarrollo de microfloculos (Andía, 2000).

La mezcla rápida: Se realiza con el propósito de introducir productos químicos en una región de gran agitación; una mezcla insuficiente y rápida resulta en un aumento de la cantidad de productos químicos (Andía, 2000).

La mezcla lenta: Después de que el coagulante se haya distribuido de manera uniforme en el agua cruda, se necesita un período de preparación para permitir que los pequeños grupos de partículas (micro floculos) formados aumenten su tamaño. Esto se logra mediante un suave movimiento del agua que fomenta el contacto y la unión de las partículas entre sí, dando lugar a la creación de floculos que pueden sedimentarse. Lo óptimo para la formación de estos floculos es una agitación constante y moderada que disminuye gradualmente, ya que los floculos se vuelven más frágiles a medida que crecen (Godoy, 2018).

^[45]
b.1. Tipos de Mezcla

Según Andía (2000) las unidades para producir la mezcla pueden ser:

- Mezcladores Mecánicos: - Retromezcladores (agitadores).
- Mezcladores Hidráulicos: - Resalto Hidráulico: ^[45] Canaleta
Parshall y Vertedero Rectangular.
- En línea: ^[45] Difusores (tuberías y canales) Inyectores, etc.

c. Temperatura

Es fundamental en regiones con climas muy variados, especialmente cuando las temperaturas llegan a niveles de congelación.

[0] ▶

Cahill y Fitz Patrick llevaron a cabo un estudio sobre el impacto de este factor en un conjunto de plantas en Chicago y identificaron dos intervalos de variación significativa. El primero se encuentra entre 0 y 10 °C, y el segundo entre 10 y 40 °C. ^[0]

En la primera zona se observó que los factores principales eran la viscosidad del agua y el pH. A medida que la temperatura del agua se acerca a 0 °C, la eliminación de la turbiedad se vuelve más complicada. Las razones precisas de este comportamiento son desconocidas, pero se sabe que cuando el agua se aproxima a la temperatura de congelación, su estructura experimenta una reorganización o un aumento en sus límites de hidrógeno antes de solidificarse o convertirse en hielo. Este fenómeno podría estar evitando que las partículas se acerquen lo suficiente para volverse inestables debido a la cancelación del movimiento browniano.

2.2.4. Sustancias químicas empleadas en la coagulación

Los productos químicos utilizados en la coagulación, que son de naturaleza inorgánica, se dividen en categorías que incluyen coagulantes, agentes que ajustan el pH y sustancias auxiliares de coagulación (OPS, 2014).

2.2.4.1. Coagulantes

En líneas generales, se podría decir que los coagulantes son compuestos mayoritariamente hechos de hierro y aluminio que pueden provocar la unión de partículas suspendidas en el agua (floc).

Esto simplifica la remoción de impurezas al crear una sustancia sólida de gran tamaño y alta capacidad de absorción, principalmente constituida por el hidróxido metálico del coagulante utilizado (Galindo, 2018).

[16] ▶

De acuerdo con Restrepo (2009), en el proceso de tratamiento de aguas se emplean sustancias químicas como agentes coagulantes, entre las cuales se incluyen las sales de aluminio y hierro.

Sales de Aluminio: ^{[21] ▶} Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: El Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, que en la práctica se le denomina como Alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniacal, Cloruro de Aluminio y el Aluminato Sódico. ^{[21] ▶}

Sales de Hierro: ^{[21] ▶} Se utiliza el Cloruro Férrico, $FeCl_3$, y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso, $Fe(SO_4)_3$ y $FeSO_4$. ^{[21] ▶} Forman un floc más pesado y se sedimentan más rápido que las sales de aluminio.

Siendo el más utilizado el Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3$; dado su alta efectividad, rendimiento, accesibilidad y bajo costo (Farhaoui, Hasnaoui y Derraz, 2016).

2.2.4.1.1. Sulfato de aluminio

Puede manifestarse en dos estados diferentes: sólido o líquido. El estado sólido se encuentra en forma de placas compactas, gránulos de diversos tamaños y en forma de polvo. ^{[0] ▶} Su fórmula estructural es $Al_2(SO_4)_3$ y la teórica es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (OPS, 2014)

El proceso para obtener sulfato de aluminio consiste en disolver hidróxido de aluminio en ácido sulfúrico:

[0] ▶



Su concentración se define por su contenido en alúmina, expresada en Al_2O_3 , es decir, 17% aproximadamente.^[10] La densidad aparente del sulfato de aluminio en polvo es del orden de 1.000 kg/m^3 (OPS, 2014).^[10]

El sulfato de aluminio se obtiene a partir de la combinación de una base débil, que es el hidróxido de aluminio, y un ácido fuerte, que es el ácido sulfúrico.^[10] Como resultado, sus soluciones acuosas tienen un pH muy bajo, que oscila entre 2 y 3.8, dependiendo de la proporción entre el sulfato y la alúmina. Debido a esta acidez, es esencial guardar este compuesto en un lugar seco y sin humedad. Para la preparación de soluciones y envases destinados a su distribución, se debe tener en cuenta su naturaleza ácida y, por lo general, se utilizan materiales plásticos (OPS, 2014).

^[13] 2.2.5. Prueba de jarras

Las pruebas de jarra son una práctica habitual en laboratorios que se emplea en plantas de tratamiento de agua potable o residuales. Este método permite estudiar los cambios en la cantidad de coagulante o diversos polímeros, variando las velocidades de mezcla y ajustando el pH a una escala reducida, con el propósito de anticipar el rendimiento de un proceso de tratamiento a gran escala (Castro, 2017).^[10]

La prueba de Jarras emula los procesos de coagulación y floculación que producen la eliminación de las partículas en suspensión (coloides) y la materia orgánica (Castro, 2017).

^[25]

Los procedimientos de ensayo se realizan mediante la norma ASTM D2035-08 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water (Práctica estándar para la prueba de jarras de coagulación-floculación del agua).

2.2.6. Camal municipal de Cajamarca

El camal municipal de Cajamarca se encuentra ubicado en la ciudad de Cajamarca en la prolongación Amalia Puga 169, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca.

Figura 13
Ubicación del camal municipal de Cajamarca

Fuente: Google Earth Pro.

2.2.6.1. Descripción general

En el Camal Municipal de Cajamarca, se lleva a cabo el beneficio de ovinos, vacunos y porcinos, con el propósito de producir carne de alta calidad destinada a abastecer el mercado y cubrir las demandas de la comunidad.

El camal en la actualidad recibe un promedio por día de 50 Vacunos, 90 porcinos y 90 ovinos por día, los cuales antes de que ingresen al camal tiene que contar con un Certificado de procedencia y de vacunas, luego pasan al área de observación donde los animales permanecerán por 1 día como mínimo para su respectiva inspección. Generando 15000 kilogramos de carne diaria en promedio, los cuales necesitan de materias primas como leña, agua y mano de obra.

2.2.6.2. ^[85] Diagrama de flujo de los procesos

Las etapas llevadas a cabo durante el proceso de faenado **en el camal municipal de Cajamarca se** describen en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 14
Flujograma de actividades desarrolladas en el proceso de faenado en el
camal municipal de Cajamarca

Fuente: Chávez et al. (2019).

2.2.6.3. Análisis de la problemática

Desde sus inicios, el Camal Municipal fue construido en el centro de la ciudad, y esta ubicación se ha convertido en un problema cada vez mayor debido al crecimiento de la zona urbana. Este crecimiento ha causado una creciente incomodidad a los residentes cercanos y a las personas que viven en las áreas circundantes. Según el Decreto Supremo N° 015-2012-AG, en su Capítulo III, Artículo 23, que regula

la ubicación de los mataderos, se establece que estos deben estar situados en áreas aisladas fuera de la zona urbana y de fácil acceso para el abastecimiento.^[37] Además, el Camal Municipal ha estado ofreciendo servicios públicos de manera deficiente debido a la falta de una infraestructura adecuada.

En el Camal Municipal, se han identificado numerosos problemas en la mayoría de las etapas de procesamiento de la carne de los animales. Por ejemplo, en el área donde los animales reposan antes del faenado, se ha notado que muchos de ellos llegan en un estado muy sucio, por lo que, se requiere lavarlos antes de proceder al faenado para garantizar que estén limpios y no representen ningún riesgo de contaminación. Esto conlleva un uso significativo de agua. Para llevar a cabo el lavado de los animales, se utiliza principalmente el método tradicional de emplear baldes, lo que resulta en un consumo excesivo de agua. Además, en todos los procesos de faenado de ovinos, porcinos y bovinos, se utiliza aproximadamente tres cubos de leña en un período de seis meses, lo que contribuye a la emisión de contaminantes al medio ambiente.

En la actualidad, tanto la sección donde se procesa la carne como la que se mantiene en condiciones higiénicas están expuestas a las condiciones climáticas al aire libre, la luz solar y la circulación del viento. Esto provoca que la carne cruda, que es la materia prima, se vea expuesta a la influencia de factores como el vapor, el humo y el polvo que se encuentran presentes en el entorno. Además, se carece de un sistema que impida la entrada de vectores y sustancias contaminantes, tal como lo exige el reglamento correspondiente (DS-015-2012- AG).

El problema principal se manifiesta en las aguas residuales derivadas de las operaciones de faenado. Estas aguas son descargadas directamente en el río San Lucas y en el sistema de alcantarillado sin someterse a ningún tratamiento previo, lo que resulta en diversos

efectos ambientales perjudiciales para los residentes en la zona circundante y para el entorno natural.

2.2.6.4. Manejo medio ambiental de los residuos del camal

En la actualidad, no existe un plan de manejo adecuado para los residuos generados en el camal, incluyendo: vísceras, contenido ruminal, sangre y partes como cabezas y patas.

El agua utilizada para limpiar el camal se combina con otras sustancias como la sangre y los desechos intestinales, se derivan a través de canales y desagües hacia el río San Lucas y el sistema de alcantarillado, sin someterse a ningún tipo de tratamiento previo, ni a un control de calidad. Esto resulta en la generación de un importante problema de contaminación en esta área urbana.

En lo que respecta al contenido del rumen, las partes no utilizables de la carcasa, así como otras vísceras, se descargan directamente en la zona de procesamiento del camal, y posteriormente se trasladan en camiones al relleno sanitario sin recibir ningún tipo de tratamiento previo. Esta práctica conduce a la acumulación de moscas durante el día y a la presencia de roedores por la noche, generando un riesgo de propagación de enfermedades infecciosas, con un promedio de aproximadamente 7 toneladas diarias de desechos.

2.2.6.5. Suministro de agua potable

El camal dispone de seis depósitos de almacenamiento de agua con diferentes capacidades. Estos tanques tienen aproximadamente: 6000 litros, 3000 litros, 2000 litros, 1000 litros y dos tanques de 25000 litros cada uno. El abastecimiento de agua en el camal se almacena para su uso durante las actividades de faenado y eviscerado. Por lo que, el personal que trabaja en el matadero debe asegurarse de obtener este líquido para llevar a cabo sus tareas, dependiendo de la zona en la que se encuentren:

En el área donde se realiza el proceso de aturdimiento y desangrado, se utiliza agua en cantidades suficientes para lavar las piezas de carne.^{[6] ▶} Esto resulta en la generación de aguas residuales que contienen sangre y contenido ruminal.^{[6] ▶} La sangre contribuye de manera significativa al aumento de la demanda química de oxígeno (DQO).^{[5] ▶}

En la sección de desollado se lleva a cabo la separación de la piel, que se retira completamente mediante un procedimiento manual.^{[5] ▶} Durante este paso del proceso, se utiliza agua para lavar la piel, lo que resulta en la producción de aguas teñidas de rojo (sangre) y la generación de desechos de tejidos (piel).

En el área de depilado, que implica la eliminación de pelos, el chamuscado se utiliza para eliminar los pelos restantes de la etapa de depilación. Durante esta fase del proceso, se producen aguas residuales (sangre) y se generan residuos de tejidos y pelaje.

Figura 15
Área de aturdimiento, desangrado y desollado en el camal municipal

Fuente: Autoría propia.

En la sección de evisceración, se retiran los órganos relacionados con la digestión, la circulación, la respiración y la reproducción. En esta fase del procedimiento, se emplea agua para limpiar los órganos internos, lo que conlleva la producción de desechos sólidos (como el rumen, el cebo, la hiel y las vísceras) y aguas residuales de color rojo.

Figura 16
Aguas residuales con sangre en el camal municipal

Fuente: Autoría propia.

En la sección de corte en canales, se efectúa un corte en la parte central de la espalda utilizando una sierra eléctrica. Durante esta fase, los trabajadores encargados de la matanza tienen a su disposición pozos de mayólica para lavar las carcasas. Utilizan baldes para extraer el agua y proceder al lavado, llevándolo a cabo al aire libre sin ninguna protección. En este proceso, es necesario emplear agua para limpiar las carcasas, lo que resulta en la producción de aguas residuales de color rojo (sangre), piel y residuos sólidos de restos de tejidos.

Figura 17
Almacenamiento de agua para su suministro en las actividades
eviscerado y corte

Fuente: Autoría propia.

En otra sección que se observa un uso excesivo de agua, es en el lavado de vísceras en condiciones adecuadas. Estas vísceras son sometidas a un proceso de limpieza en pequeños recipientes que requieren agua potable, lo que resulta en una considerable cantidad de agua residual compuesta por sangre, heces y grasas que se descarga en el sistema de alcantarillado. Este procedimiento se lleva a cabo en varios recipientes, cada uno de los cuales cuenta con su propia fuente de agua. El personal no utiliza ningún método eficiente para lavar las vísceras y carece del conocimiento sobre cómo el uso de estos recipientes contribuye significativamente al desperdicio de agua.

Figura 18
Área de lavado de vísceras generando un gran volumen de agua residual

Fuente: Autoría propia.^[37] ▶

El reglamento DS-015-2012-AG establece la necesidad de disponer de instalaciones de calidad para almacenar y distribuir de manera adecuada, protegiéndolas de cualquier forma de contaminación. Estas instalaciones deben ser de fácil acceso para su inspección, limpieza y control correspondiente. Sin embargo, actualmente no se está cumpliendo con estas regulaciones.

^[5] ▶
2.2.6.6. Efluentes - Líneas de Drenaje

En cuanto a los efluentes del camal, se utilizan rejillas y drenajes para capturar todos los residuos de agua producidos durante el proceso de faenado, el lavado de las carcasas, el lavado de las vísceras y la limpieza de los pisos en todas las áreas del matadero. Estos residuos se recogen a través de canaletas sin hacer ninguna distinción entre las distintas etapas del proceso de faenado. Las partículas sólidas se

recolectan de estas canaletas y se transportan en carretillas a una zona donde se cargan en camiones que las llevan al relleno sanitario.

Las áreas de trabajo del camal cuentan con canaletas que carecen de una pendiente y no están equipadas con tuberías aguas residuales. En su lugar, las aguas residuales se descargan directamente en el río San Lucas y en el sistema de alcantarillado sin previo tratamiento. Esta situación se agrava con el tiempo, ya que el matadero colinda con un río y, de acuerdo con las normativas actuales, es obligatorio contar con un sistema de tratamiento de efluentes adecuado y suficiente para procesar todo el volumen generado.

2.2.6.7. Agua residual total generada

El agua residual que se genera en el camal municipal de Cajamarca, según entrevista al personal encargado del control de actividades se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 3
Consumo total de agua potable diario en los días de mayor matanza en el camal

Tipo de animal	Cantidad diaria de animales	Litros de agua por animal en el faenado total (Lt)	Total de agua potable utilizada (Lt)
Porcinos	170	55	9350.00
Vacuno	75	210	15750.00
Ovino	90	45	4050.00
			29150.00

Fuente: Autoría propia.

Tabla 4
Consumo total de agua potable diario en los días de matanza media en el camal

Tipo de animal	Cantidad diaria de animales	Litros de agua por animal en el faenado total (Lt)	Total de agua potable utilizada (Lt)
Porcinos	105	55	5775.00
Vacuno	35	210	7350.00
Ovino	60	45	2700.00
			15825.00

Fuente: Autoría propia.

Tabla 5
Consumo total de agua potable diario en los días de menor matanza en el camal

Tipo de animal	Cantidad diaria de animales	Litros de agua por animal en el faenado total (Lt)	Total de agua potable utilizada (Lt)
Porcinos	55	55	3025.00
Vacuno	20	210	4200.00
Ovino	40	45	1800.00
			9025.00

Fuente: Autoría propia.

En las tablas 3, 4 y 5 se observó que el gasto diario en agua potable en los días de mayor, media y menor matanza para las actividades relacionadas al faenado total en el camal municipal de Cajamarca fueron de 29150.00 litros por día, 15825.00 litros por día, 9025.00 litros por día respectivamente.

Esta agua potable utilizada se mezcla con la sangre generada durante el faenado, donde la cantidad de sangre resultante basándonos en Moreno (2006) serian aproximadamente según la tabla 6, 7 y 8:

Tabla 6

Volumen de sangre total diaria resultante en los días de mayor matanza en el camal

Tipo de animal	Cantidad diaria de animales	Peso promedio de animales (kg)	% de Sangre por kg (%)	Total de sangre (Lt)
Porcinos	170	180	0.08	2448.00
Vacuno	75	480	0.08	2880.00
Ovino	90	125	0.08	900.00
				6228.00

Fuente: Autoría propia.

Tabla 7

Volumen de sangre total diaria resultante en los días de matanza media en el camal

Tipo de animal	Cantidad diaria de animales	Peso promedio de animales (kg)	% de Sangre por kg (%)	Total de sangre (Lt)
Porcinos	105	180	0.08	1512.00
Vacuno	35	480	0.08	1344.00
Ovino	60	125	0.08	600.00
				3456.00

Fuente: Autoría propia.

Tabla 8

Volumen de sangre total diaria resultante en los días de menor matanza en el camal

Tipo de animal	Cantidad diaria de animales	Peso promedio de animales (kg)	% de Sangre por kg (%)	Total de sangre (Lt)
Porcinos	55	180	0.08	792.00
Vacuno	20	480	0.08	768.00
Ovino	40	125	0.08	400.00
				1960.00

Fuente: Autoría propia.

En las tablas 5,6 y 7 se observa que el volumen de sangre resultante de las actividades relacionadas al faenado total en el camal municipal de Cajamarca fue de 6228.00 litros por día de mayor matanza, 3456.00 litros por día de matanza media, 1960.00 litros por día de matanza baja.

[6] ▶

De lo anterior, se puede evidenciar que el volumen total de aguas residuales generadas en los procesos de faenado total en el camal municipal de Cajamarca es de aproximadamente de 35378 litros diarios en los días de mayor matanza, 19281 litros diarios en los días de matanza media y 10985 litros diarios en los días de menor matanza.

2.2.7. Normativa legal peruana

2.2.7.1. ^[57] ▶ Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto

A través del **Decreto Supremo N° 015-2012-AG**, se aprobó el ^[5] ▶ ^[51] ▶ "Reglamento Sanitario para el **Faenado de Animales de Abasto**", cuyo propósito es establecer directrices y normativas técnicas relacionadas con el procesamiento de animales destinados a la alimentación, con el fin de garantizar la seguridad de los alimentos de origen **primario destinados al consumo humano** y mejorar la eficacia del proceso de faenado, lo que contribuye al fortalecimiento de la industria ganadera nacional.

2.2.7.2. ^[5] ▶ Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de camales y plantas de beneficio

A través del **Decreto Supremo N° -2009-MINAM** se aprobaron los ^[5] ▶ ^[7] ▶ "Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de actividades agroindustriales como planta de camales y plantas de beneficio". Su propósito es establecer los **Límites Máximos Permisibles (LMP)** para los vertidos generados por actividades agroindustriales, como las **plantas de camales y de beneficio**, con el fin de reducir los impactos adversos en el medio ambiente,

especialmente la contaminación de los cuerpos de agua, así como los riesgos para la salud de la población.^[7] Este decreto es de aplicación obligatoria para todas las actividades agroindustriales, como las plantas de camales y de beneficio, que se lleven a cabo en el territorio nacional.

Artículo 3º:^[7] De la aprobación de los Límites Máximos Permisibles para efluentes líquidos de las actividades agroindustriales en promedio diario.

^[7]

Apruébese los Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes líquidos tratados de las actividades agroindustriales hacia los cuerpos de agua naturales no excederán los valores indicados en la siguiente tabla:

^[5]

Tabla 9
Límites Máximos Permisibles para efluentes líquidos de las actividades agroindustriales en promedio diario

Parámetros	Unidad	LPM
pH	-	6.0 – 9.0
DBO	mg/l	250
DQO	mg/l	500

Fuente: DECRETO SUPREMO N°-2009-MINAN.

2.2.7.3. Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

A través del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, se aprobó la normativa sobre los “Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”.^[14] Este tiene como propósito regular, mediante estos valores, las emisiones de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, con el fin de prevenir daños a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinaria y equipos,

asegurando su correcto funcionamiento y respaldando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales.

[14] ▶

Estos Valores Máximos Admisibles (VMA) son de aplicación nacional y deben ser cumplidos de manera obligatoria por todos los usuarios que realicen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario. El cumplimiento de esta normativa es exigible por parte de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) o aquellas que asuman sus responsabilidades.

[14] ▶
Artículo 2º.- Aprobación de Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector Saneamiento.

[14] ▶

Apruébese los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario establecidos que forman parte integrante de la presente norma.

[14] ▶

Tabla 10
Valores Máximos Permisibles para descarga en los sistemas de alcantarillado

Parámetros	Unidad	Expresión	VMP para descarga de sistema de alcantarillado.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000

Fuente: DECRETO SUPREMO N°-021-2009-VIVIENDA.

2.3. Marco conceptual

Aguas residuales de camales o mataderos. Se refieren a aquellas que se originan tanto en los propios camales como en las instalaciones de procesamiento de carne y sus derivados.

Aguas residuales domésticas. Son las que provienen de las viviendas y de actividades del comercio, contienen desechos biológicos y otros subproductos generados por la actividad humana, las cuales deben ser tratadas y gestionadas de manera apropiada.

Aguas residuales industriales. Son el resultado de diversas actividades productivas, como la minería, la agricultura, la generación de energía y la industria agroalimentaria, entre otras.

Aguas residuales municipales. Son las aguas domésticas que pueden contener una combinación de aguas de lluvia que se han drenado y aguas residuales industriales previamente procesadas, que son autorizadas para ingresar a sistemas de alcantarillado.

Aguas residuales. Son aguas cuyas propiedades naturales han sido alteradas debido a la intervención humana, y debido a su calidad necesitan ser tratadas antes de ser empleadas nuevamente, liberadas en un entorno natural o derivadas al sistema de alcantarillado.

Camal. Es un lugar designado para el beneficio de ganado y aves destinados al consumo humano. En este lugar, un veterinario se encarga de evaluar y categorizar la carne en términos de calidad (extra, primera, segunda). Para operar, este establecimiento debe contar con una certificación sanitaria otorgada por el SENASA.

Carga orgánica. Se refiere a la acumulación de ciertos factores físicos y químicos contaminantes en el agua en una ubicación específica.

Coagulación. Es un procedimiento en el cual las partículas coloidales, que están en suspensión, pierden su estabilidad química debido a la neutralización de las fuerzas que las mantienen separadas.^[28] Esto se logra mediante la introducción de coagulantes químicos y la aplicación de energía de mezcla.

Coagulantes.^[3] Son sustancias compuestas por hierro y aluminio con la capacidad de generar un agregado de partículas (floc), lo que les permite llevar a cabo el proceso de coagulación al ser introducidos en el agua.^[10] Este fenómeno es particularmente notable en presencia de la alcalinidad del agua, dando lugar a la formación de un precipitado abundante y altamente absorbente. Este precipitado suele estar compuesto principalmente por el hidróxido metálico del agente coagulante empleado.

Concentración óptima. Niveles de concentración óptimos se logran al emplear soluciones de sulfato de manera bastante diluida para eliminar la turbidez. No obstante, la eficacia en la eliminación de la turbidez disminuye significativamente con concentraciones por debajo del 0,1%, ya que el sulfato de aluminio puede experimentar hidrólisis antes de aplicarse. Se recomienda considerar valores en el rango del 1 al 2% como óptimos al planificar el proyecto u operar la planta de tratamiento.

Contaminación del agua. Se refiere a cualquier modificación negativa en las propiedades físicas, químicas o bacteriológicas del agua.

Contaminantes.^[7] Son materiales en estado sólido, líquido o gaseoso que, al introducirse en un sistema o interactuar con él, causan una degradación o modificación en su calidad original a niveles perjudiciales para la salud y el bienestar de las personas, o que representan una amenaza para los ecosistemas naturales y los recursos y actividades de importancia humana.

Cuerpo receptor. Es el entorno natural en forma de agua, tierra o aire que recibe una descarga constante, ocasional o accidental, y su calidad se evalúa en relación con los criterios de calidad ambiental apropiados.^[5]

^[27] Demanda química de oxígeno (DQO). Se expresa en miligramos de oxígeno por litro que representa la cantidad de oxígeno consumido por sustancias presentes en el agua que pueden oxidarse en ciertas condiciones específicas de operación. Este cálculo se relaciona con una estimación de la cantidad de materiales susceptibles de oxidación presentes en el agua.^[13]

Dosis óptima. La dosificación óptima del coagulante influye directamente en la eficacia de la coagulación de la siguiente manera:

Si se utiliza una cantidad insuficiente de coagulante, no se neutraliza por completo la carga de las partículas, lo que resulta en una formación muy limitada de microfloculos y, como resultado, una turbidez residual alta. Por otro lado, si se emplea una cantidad excesiva de coagulante, se produce una inversión en la carga de las partículas y se forman numerosos microfloculos muy pequeños con velocidades de sedimentación extremadamente lentas, lo que también resulta en una turbidez residual alta.

La elección del coagulante adecuado y la dosificación óptima se determinan mediante pruebas de jarras.^[7]

Efluentes líquidos de actividades agroindustriales. Son aquellas generadas en la producción de alimentos, la cría y reproducción de ganado, cerdos y aves, así como en las instalaciones ganaderas.

Límite Máximo Permisible (LMP). Es la cantidad máxima permitida de elementos, sustancias o características físicas, químicas y biológicas en un efluente o emisión.^[100] Cuando este límite se supera, puede ocasionar efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

^[7] Parámetro. Se refiere a cualquier componente, sustancia o característica física, química o biológica de un efluente que determina su nivel de calidad.

^[0] Partículas coloidales. Las partículas coloidales presentes en el agua tienen un tamaño que oscila entre 1 y 1.000 milimicrómetros, y su comportamiento está condicionado por su naturaleza y origen.^[0] La turbidez del agua se atribuye principalmente a estas partículas coloidales.

pH óptimo. Es un factor importante que se debe considerar cuando se trata de la coagulación.^[69] Cada tipo de agua tiene un intervalo de pH óptimo en el cual la coagulación ocurre de manera eficiente.^[28] Este intervalo depende de la naturaleza de los iones presentes en el agua y de su alcalinidad. El rango de pH adecuado varía según el tipo de coagulante que se vaya a utilizar y las características del agua que se está tratando. Si la coagulación se realiza fuera de este rango óptimo de pH, se requerirá una mayor cantidad de coagulante. Por lo tanto, la dosis necesaria será mayor. Para las sales de aluminio, el intervalo de pH óptimo para la coagulación es de 6.5 a 8.0.

Prueba de jarras.^[13] Es un procedimiento habitual en el entorno de laboratorio, aplicado tanto en plantas de tratamiento de agua potable como en las de aguas residuales. Este método posibilita la experimentación con variaciones en la cantidad de coagulante o diferentes polímeros, cambios en las velocidades de mezcla y ajustes en el pH a una escala reducida, con el propósito de anticipar el rendimiento de una operación de tratamiento a gran escala.

Sólidos en suspensión. Consisten en pequeñas partículas que permanecen dispersas en el agua debido a su naturaleza coloidal. Estos sólidos no se sedimentan por la gravedad cuando el agua no está en movimiento.^[2] Esto ocurre porque las partículas coloidales tienen una carga eléctrica similar, lo que las mantiene en suspensión debido a la repulsión eléctrica, gracias a un movimiento constante conocido como el "movimiento browniano".

Sulfato de aluminio. Puede encontrarse en estado sólido o líquido, se presenta en forma de placas compactas, gránulos de diferentes dimensiones y en polvo.^[0] Su fórmula es $Al_2(SO_4)_3$ y su fórmula teórica es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

Tratamiento. Se refiere a cualquier procedimiento, enfoque o método que posibilite la alteración de las propiedades físicas, químicas o biológicas del desecho líquido con el propósito de disminuir o erradicar su riesgo potencial de causar perjuicios a la salud y al entorno.

Turbidez. Es el grado en el que los elementos suspendidos en el agua pueden obstaculizar la penetración de la luz. La turbidez puede ser causada por diversos factores, siendo los más destacados la contaminación resultante de residuos orgánicos o actividades industriales, así como la erosión natural de las cuencas que aporta sedimentos.

CAPÍTULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en los siguientes puntos:

- La recolección de muestras se realizó en el camal municipal de Cajamarca, ubicado en la ciudad de Cajamarca.
- La parte experimental se ejecutó en el Laboratorio INNODEVEL S.A.C,^[63] ubicado en la ciudad de Cajamarca.

3.2. Tipo de investigación

La clasificación de la investigación se realizó según Vieytes (2004):

a. De acuerdo a la finalidad (propósito)

Aplicada, porque se orientó a obtener un nuevo conocimiento acerca de la eficiencia del sulfato de aluminio en el tratamiento primario de las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca, en la fase de coagulación, para solucionar problemas de contaminación en las aguas del Rio San Lucas y la obstrucción de las redes de alcantarillado.

^[0] b. De acuerdo la estrategia o enfoque teórico metodológico

Cuantitativa, pues se buscó determinar la influencia de la dosis óptima de solución de sulfato de aluminio en la disminución de la carga orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca, mediante un proceso sistemático haciendo uso de la estadística (descriptiva e inferencial).

^[11] c. De acuerdo a los objetivos (alcance)

Explicativa, pues se explicó como incide el sulfato de aluminio en la disminución de la carga orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

d. De acuerdo a la fuente de datos

Primaria, ya que los datos recolectados fueron realizados directamente por el tesista mediante la experimentación.

[35] ▶

e. De acuerdo al control en el diseño de la prueba

Experimental, porque se determinó si el sulfato de aluminio tiende a reducir la carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca; dichos efectos se obtuvieron a través de condiciones y pruebas controladas.

f. De acuerdo a la secuencia temporal

Transversal, dado que la medición de las variables en estudio se realizó en un momento o tiempo determinado.

3.3. Métodos de investigación

Basándonos en Méndez (2011) el método de investigación utilizado fue el Método Deductivo con un enfoque cuantitativo.

3.4. Población

La población estuvo conformada por el caudal de aguas residuales (efluentes) del camal municipal de Cajamarca.

3.5. Muestra

De acuerdo con Hernández et al. (2014), la selección y tamaño de la muestra se determinó empleando un Método de Muestreo No Probabilístico - Muestras de Caso-Tipo.

La muestra fue obtenida según lo especificado en la Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM ^[5]▶ “Límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de camales y plantas de beneficio”, conforme al siguiente artículo:

Artículo 8. Se deberá recolectar una muestra que sea representativa del volumen descargado en el punto de descarga en el día de control. Esta muestra compuesta estará formada por la combinación homogénea de muestras individuales, con volúmenes proporcionales a las descargas respectivas. ^[5]▶ El número mínimo de muestras individuales requeridas para cada muestra compuesta se determinará de

acuerdo con la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 11
Procedimiento para toma de muestras de agua residual

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras puntuales	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo	Máximo
Hasta 4	2	1	2
Más de 4 y hasta 8	4	1	2
Más de 8 y hasta 12	4	2	3
Más de 12 y hasta 18	6	2	3
Más de 18 y hasta 24	6	3	4

Fuente: Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM.

La toma de muestras se realizó en 3 días distintos, la cual estuvo en función al número de matanzas diarias según lo indicado por el área de administración del camal municipal. Siendo el día lunes el de alta matanza, miércoles el día de matanza media y jueves el día de baja matanza.^[5]

La cantidad de muestra en litros para realizar la Prueba de Jarras y sus respectivas repeticiones se presenta en la tabla 12

Tabla 12
Cantidades de muestras recolectadas

Día	Matanza	Litros de muestra
Lunes	Alta	60 litros
Miércoles	Media	60 litros
Jueves	Baja	60 litros

Fuente: Autoría propia.

3.6. Unidad de análisis

La unidad de análisis lo constituyó los 500 ml de agua residual muestreada en cada uno de los 6 vasos de precipitado de Griffin (beaker) para el Método de Jarras.

3.7. Diseño de investigación

Basádonos Hernández et al. (2014) el diseño de la investigación se realizó mediante un diseño Experimental, cumpliendo con los criterios de Homogeneidad y Representatividad.

El esquema de experimento fue el siguiente:

G1	X	O1
G2	-	O2

Donde:

G1: Grupo o caso experimental (muestra de agua residual del camal).

G2: Grupo o caso control (muestra de agua residual del camal).

X: Tratamiento, estímulo o condición experimental (aplicación de la solución de sulfato de aluminio).

- : Ausencia de estímulo (sin aplicación de la solución de sulfato de aluminio). Indica que se trata de un grupo de control

O: Medición posprueba a los grupos o casos, nos indica si hubo o no efecto de la manipulación de la variable independiente.

Fases de la metodología experimental

Fase 1: Recolección de muestras

La recolección de muestras se realizó en 3 días distintos, en función al número de matanzas diarias según lo indicado por el área de administración del camal municipal.

Tabla 13
Días de recolección de muestras

Matanza	Día de recolección
Alta	Lunes
Media	Miércoles
Baja	Jueves

Fuente: Autoría propia.

Fase 2: Determinación de los casos de estudio

Para cada día de recolección, se realizaron 5 casos de estudio (muestra con tratamiento o final) y 1 caso control (muestra sin tratamiento o inicial) para cada día definido.

Tabla 14
Casos de estudio del agua residual

Día	Casos de estudio
Lunes	Caso sin tratamiento
	Caso 1
	Caso 2
	Caso 3
	Caso 4
Miércoles	Caso 5
	Caso sin tratamiento
	Caso 6
	Caso 7
	Caso 8
Jueves	Caso 9
	Caso 10
	Caso sin tratamiento
	Caso 11
	Caso 12
	Caso 13
	Caso 14
	Caso 15

Fuente: Autoría propia.

^[4] ▶ Fase 3: Realización de la prueba de jarras

Se realizó la prueba de jarras para determinar la dosificación óptima de Sulfato de Aluminio - para el proceso de coagulación-floculación - en la remoción de carga orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

[4] ▶

Para un correcto funcionamiento del equipo y prueba de jarras se definió y programó las velocidades y tiempos de agitación para los procesos de mezcla rápida y lenta, de igual modo el tiempo de sedimentación. Estos parámetros se establecieron tomando como referencia a estudios realizados por Oré (2017), Murrieta (2017), Gabino (2018), López (2018), Madueño (2018), Nieto y Huamán (2019), Álvarez

(2019), Arenas (2019), Irigoín y Monteza (2020) y por los especialistas del área de operaciones de la empresa prestadora de servicios de saneamiento SEDACAJ. Los valores definidos se presentan en la tabla 16.

Tabla 15
Parámetros definidos para el funcionamiento de la prueba de jarras

Casos de estudio	Velocidad y tiempo de agitación [Mezcla rápida]	Velocidad y tiempo de agitación [Mezcla lenta]	Tiempo de sedimentación
Caso 1			
Caso 2			
Caso 3	150 RPM – 1.5 min.	60 RPM – 15 min.	20 min.
Caso 4			
Caso 5			
Caso 6			
Caso 7			
Caso 8	150 RPM – 1.5 min.	60 RPM – 15 min.	20 min.
Caso 9			
Caso10			
Caso 11			
Caso 12			
Caso 13	150 RPM – 1.5 min.	60 RPM – 15 min.	20 min.
Caso 14			
Caso 15			

Fuente: Autoría propia.

En pruebas preliminares se determinando los rangos de dosis del coagulante a utilizar en cada una de las 6 jarras del equipo, siendo estas las que se muestran en la tabla 16. Así mismo, para obtener una mayor precisión en los resultados se llevó a cabo 3 repeticiones de la prueba de jarras por cada dosis aplicada.

Tabla 16

Dosis de sulfato de aluminio al 1% definidos para la prueba de jarras

Casos de estudio	Dosis Sulfato de Aluminio al 1% [Tratamientos] ^[3]					
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Todos los casos de estudio	9 ml	10 ml	11 ml	12 ml	13 ml	14 ml

Fuente: Autoría propia.

La concentración de la solución coagulante de Sulfato de Aluminio utilizada fue al 1% (10 gramos de Sulfato de Aluminio disuelto en 1 litro de agua destilada).

Se colocaron las 6 muestras (casos) de agua residual de 500 ml (beaker) en cada una de las jarras (beaker).^[2] A continuación, se puso en funcionamiento el equipo, iniciándose con la homogenización de la muestra de agua residual, seguidamente, en el momento en que inicia la mezcla rápida se añadió en cada jarra las dosis respectivas del coagulante, de manera simultánea.^[2] Más adelante, continuó la fase de mezcla lenta, la cual, una vez concluida, el equipo se apagó automáticamente.

Al término de estas etapas de mezcla rápida y lenta (periodo de coagulación y floculación), se retiraron las paletas de agitación y se dejó reposar cada una de las jarras por un periodo de 20 minutos para la formación y sedimentación de los FLOC.

Finalizado el proceso de sedimentación, se tomó de la parte superior de cada jarra una cantidad de 100 ml para los análisis respectivos de sus propiedades físico-químicas con el fin de realizar una comparación con las del caso control (muestra inicial sin tratamiento).^[4]

De esta comparación, se determinó la dosis óptima del coagulante (Sulfato de Aluminio al 1%), para un adecuado proceso de coagulación-floculación en la remoción de carga orgánica del agua residual del camal municipal de Cajamarca.

Fase 4: Caracterización de los parámetros físico-químicos

Finalizadas las pruebas de jarras correspondientes y extraídas las muestras de cada tratamiento realizado, se determinaron los parámetros físico-químicos de cada una de ellas, de igual modo, los parámetros físico-químicos de los casos control (muestra inicial sin tratamiento). Los parámetros cuantificados se muestran en la tabla 17.

Estos análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio INNODEVEL S.A.C., el cual está acreditado por INACAL, ubicado en la ciudad de Cajamarca. Los parámetros pH y turbidez fueron medidos por la tesista, así mismo, la demanda química de oxígeno (DQO) fue determinado por el personal especializado del laboratorio.

Tabla 17
Parámetros físico-químicos a cuantificar

Parámetro	Unidad	Laboratorio
pH	Unidad pH	Laboratorio externo
Turbidez	NTU	Laboratorio externo
Demanda Química de Oxígeno [DQO]	mgO ₂ /L	Laboratorio externo

Fuente: Autoría propia.

Fase 5: Tratamiento de los resultados

Determinación de los porcentajes de remoción

Luego de haber obtenido de los parámetros físico-químicos, se procedió a la evaluación de la eficacia de cada uno de los tratamientos realizados. Para lo cual se realizaron comparaciones entre los casos de estudio (muestra con tratamiento) y el los casos control (muestra sin tratamiento) para determinar los porcentajes de remoción. Para el cálculo del porcentaje de remoción se utilizó la siguiente relación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(M_{\text{sin tratamiento}} - M_{\text{con tratamiento}})}{M_{\text{sin tratamiento}}} \times 100$$

Donde:

M_{sin tratamiento}: Valor del parámetro del caso o muestra sin tratamiento (inicial)

M_{con tratamiento}: Valor del parámetro del caso o muestra con tratamiento (final)

Determinación de la dosis óptima del coagulante

Se realizó mediante el análisis de las gráficas de Turbiedad (UNT) vs. Dosis de coagulante (ml) y Remoción de Turbiedad (%) vs. Dosis de coagulante (ml). De igual manera, con gráficas de DQO (mg/L) vs. Dosis de coagulante (ml) y Remoción de DQO (%) vs. Dosis de coagulante (mg/L).

La dosis óptima fue la dosis en mililitros (ml) de Sulfato de Aluminio al 1%, donde se obtuvo la menor Turbidez (UNT) y DQO (mg/L) o mayores porcentajes de remoción (%). Finalmente, la dosis óptima de Sulfato de Aluminio al 1% en mililitros (ml) expresada a miligramos por litro (mg/L) se determinó con la siguiente relación:

$$DO_{mg/L} = \frac{DO_{ml} \cdot C}{V_j}$$

Donde:

$DO_{mg/L}$: ^[2] Dosis óptima del coagulante [mg/L]

DO_{ml} : Dosis óptima del coagulante de Sulfato de Aluminio al 1% en mililitros [ml]

C : ^[3] Concentración de la solución coagulante. Por ejemplo, una concentración al 1% equivale a 10 gr/L

V_j : ^[2] Capacidad de la jarra o beaker. Para el presente estudio la jarra fue de 500 ml.

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de investigación para la obtención de datos fue mediante la Observación Experimental. ^[73] Asimismo, los instrumentos que se utilizó para la recolección de los datos fueron fichas de recolección de datos experimentales.

3.9. ^[15] Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de información se hizo uso del programa computacional Excel. Para el análisis e interpretación de la información de datos se realizó mediante el uso de la estadística inferencial empleando el programa computacional SPSS Statistics 26.

3.10. Contrastación de hipótesis

Con el objeto de comprobar la hipótesis planteada en la presente investigación, se empleó la prueba estadística Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor. El cálculo se realizó utilizando el programa computacional SPSS Statistics 26. El procedimiento fue el siguiente:

a. Planteamiento de las hipótesis estadísticas para ANOVA

Ho: $= \mu$: Las medias de los casos de estudio son iguales.^[4]

El sulfato de aluminio no incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

Ha: $\neq \mu$: Las medias de los casos de estudio son diferentes.

El sulfato de aluminio incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

b. Determinación del nivel de significancia

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$ (5%)^[99]

Se utilizó un nivel de significancia del 5% para dar confiabilidad a los resultados que se obtuvieron del desarrollo de la investigación.

c. Verificación de la normalidad

Se realizó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (para muestras menores a 50).

Se plantearon las siguientes hipótesis para la distribución de datos:

Ho: La distribución de datos presenta una distribución normal. (hipótesis de homogeneidad)

Ha: La distribución de datos no presenta una distribución normal.
(hipótesis de diferencias)

Regla de decisión para la normalidad:

Se acepta Ha, si: $P\text{-valor} \leq \alpha$

Se acepta Ho, si: $P\text{-valor} > \alpha$

d. Verificación de la homogeneidad de varianzas

Se realizó mediante el Estadístico de Levene.

Se plantearon las siguientes hipótesis para la homogeneidad de varianzas:

Ho: Las varianzas de los casos de estudio son iguales. (hipótesis de homogeneidad)

Ha: Las varianzas de los casos de estudio no son iguales. (hipótesis de diferencias)

Regla de decisión para la normalidad:

Se acepta Ha, si: $P\text{-valor} \leq \alpha$

Se acepta Ho, si: $P\text{-valor} > \alpha$

e. Estadístico de prueba

Se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) de un Factor, y se determinó el nivel de significancia P.

Regla de decisión final:

Se acepta Ha, si: $P \leq \alpha$

Se acepta Ho, si: $P > \alpha$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentaron los resultados experimentales, siguiendo el diseño metodológico propuesto.^[23] Para cada caso de estudio se determinaron sus parámetros físico-químicos de agua residual, siendo la Turbidez y la Demanda Química de Oxígeno los que determinaron la remoción de la Carga Orgánica de las aguas residuales del camal municipal.^[10] Luego se realizó un análisis de los resultados, comparando los casos con tratamientos (muestras con dosificación de coagulante de sulfato de aluminio al 1%) con los casos sin tratamiento (muestras iniciales) respectivamente.^[4] El objetivo de esta comparación fue determinar la incidencia que presentó el sulfato de aluminio en la remoción de carga orgánica en los efluentes de agua residual del camal municipal de Cajamarca.

4.1. Parámetros físico-químicos de los casos sin tratamiento

Los parámetros físico-químicos del agua residual del camal municipal sin tratamientos (muestras iniciales) se presentan en la tabla 19.

Tabla 18
Parámetros físico-químicos de los casos sin tratamiento

Parámetro	Unidad	Casos sin tratamiento (muestras iniciales)		
		Lunes	Miércoles	Jueves
pH	und	7.15	7.13	7.14
Turbidez	NTU	960	910	859
DQO	mgO ₂ /L	3091.72	3060.77	3001.98

Fuente: Autoría propia.

4.2. Parámetros físico-químicos de los casos con tratamiento

Se mostró la variación de los valores del pH, turbidez y DQO luego del proceso de floculación-coagulación, para las dosis de sulfato de aluminio al 1% definidas entre 9 ml y 14 ml para los casos de estudio definidos.

4.2.1. Casos 1 al 5

Tabla 19
Parámetros físico-químicos del Caso 1

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.01	533	1391.82
10 ml	6.97	490	1163.89
11 ml	6.85	407	1064.84
12 ml	6.81	422	1151.77
13 ml	6.74	503	1314.46
14 ml	6.70	485	1325.41

Fuente: Autoría propia.

Tabla 20
Parámetros físico-químicos del Caso 2

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.09	431	1351.54
10 ml	7.03	442	1257.31
11 ml	6.95	391	1053.62
12 ml	6.89	366	1006.07
13 ml	6.86	402	1098.33
14 ml	6.79	407	1102.68

Fuente: Autoría propia.

Tabla 21
Parámetros físico-químicos del Caso 3

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.23	459	1298.24
10 ml	7.20	434	1324.85
11 ml	7.15	382	1014.36
12 ml	7.11	348	942.84
13 ml	7.06	379	1152.65
14 ml	7.03	437	1265.05

Fuente: Autoría propia.

Tabla 22
Parámetros físico-químicos del Caso 4

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.15	509	1281.58
10 ml	7.10	497	1247.37
11 ml	7.06	464	1087.18
12 ml	7.02	447	981.89
13 ml	7.00	495	1197.63
14 ml	6.94	505	1295.14

Fuente: Autoría propia.

Tabla 23
Parámetros físico-químicos del Caso 5

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.06	546	1324.74
10 ml	7.01	465	1184.95
11 ml	6.98	454	998.26
12 ml	6.97	423	951.11
13 ml	6.91	487	1102.52
14 ml	6.87	513	1165.17

Fuente: Autoría propia.

4.2.2. Casos 6 al 10

Tabla 24
Parámetros físico-químicos del Caso 6

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.02	463	1371.65
10 ml	6.99	395	1243.08
11 ml	6.95	380	1028.74
12 ml	6.90	336	974.63
13 ml	6.87	359	1147.91
14 ml	6.85	449	1205.32

Fuente: Autoría propia.

Tabla 25
Parámetros físico-químicos del Caso 7

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.04	375	1187.35
10 ml	7.01	342	1241.47
11 ml	6.96	362	1132.28
12 ml	6.90	295	936.21
13 ml	6.87	315	1025.54
14 ml	6.83	371	1193.61

Fuente: Autoría propia.

Tabla 26
Parámetros físico-químicos del Caso 8

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.16	363	1294.29
10 ml	7.13	335	1268.18
11 ml	7.08	324	1035.46
12 ml	7.07	280	987.62
13 ml	7.02	334	1121.03
14 ml	6.97	346	1090.54

Fuente: Autoría propia.

Tabla 27
Parámetros físico-químicos del Caso 9

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.13	394	1402.06
10 ml	7.09	391	1236.22
11 ml	7.06	331	1083.85
12 ml	7.02	349	1187.36
13 ml	6.97	376	1198.19
14 ml	6.94	392	1145.53

Fuente: Autoría propia.

Tabla 28
Parámetros físico-químicos del Caso 10

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.11	387	1132.17
10 ml	7.08	406	1065.36
11 ml	7.04	383	1047.51
12 ml	6.98	365	914.92
13 ml	6.94	381	985.85
14 ml	6.92	434	1178.49

Fuente: Autoría propia.

4.2.3. Casos 11 al 15

Tabla 29
Parámetros físico-químicos del Caso 11

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.11	393	1213.59
10 ml	7.06	323	1011.24
11 ml	7.01	367	998.26
12 ml	6.98	325	1002.69
13 ml	6.93	373	1011.82
14 ml	6.87	370	1047.35

Fuente: Autoría propia.

Tabla 30
Parámetros físico-químicos del Caso 12

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.08	350	1332.54
10 ml	7.04	305	1254.29
11 ml	7.00	272	1074.37
12 ml	6.94	295	984.79
13 ml	6.91	310	1112.36
14 ml	6.89	285	1097.11

Fuente: Autoría propia.

Tabla 31
Parámetros físico-químicos del Caso 13

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	6.79	324	1336.57
10 ml	6.76	339	1311.25
11 ml	6.71	289	1247.38
12 ml	6.67	256	1146.14
13 ml	6.60	319	1254.16
14 ml	6.59	323	1178.69

Fuente: Autoría propia.

Tabla 32
Parámetros físico-químicos del Caso 14

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.09	385	1201.03
10 ml	7.06	354	1147.21
11 ml	7.04	378	1154.23
12 ml	6.98	318	977.57
13 ml	6.94	388	1078.32
14 ml	6.87	370	1058.59

Fuente: Autoría propia.

Tabla 33
Parámetros físico-químicos del Caso 15

Dosis	pH	Turbidez [NTU]	DQO [mgO ₂ /L]
9 ml	7.11	422	1300.25
10 ml	7.05	369	1185.45
11 ml	7.01	359	1119.03
12 ml	6.98	338	911.25
13 ml	6.94	339	978.36
14 ml	6.91	395	997.04

Fuente: Autoría propia.

4.3. Determinación porcentajes de remoción y dosis óptima

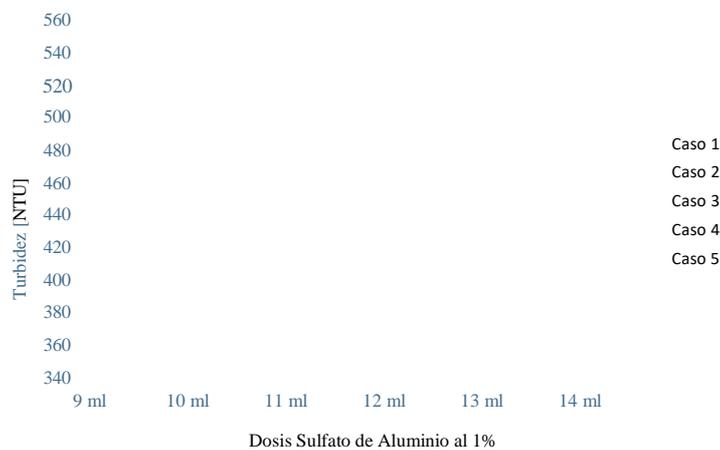
4.3.1. Casos 1 al 5

Tabla 34
Valores de la turbidez postratamientos – Casos día lunes

Dosis	Turbidez [NTU]				
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
9 ml	533	431	459	509	546
10 ml	490	442	434	497	465
11 ml	407	391	382	464	454
12 ml	422	366	348	447	423
13 ml	503	402	379	495	487
14 ml	485	407	437	505	513

Fuente: Autoría propia.

Figura 19
Variación de la turbidez postratamientos – Casos día lunes



Fuente: Autoría propia.

De la tabla 34 y figura 19, se mostró que, luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se logró una disminución máxima

de la turbidez inicial de 960 NTU a 407 NTU para el Caso 1, 366 NTU para el Caso 2, 348 NTU para el Caso 3, 447 NTU para el Caso 4 y 423 NTU para el Caso 5. De este análisis se determinó que la dosis óptima fue de 12 ml de sulfato de aluminio al 1%, correspondiente al Caso 3, el cual presentó la máxima disminución de la turbidez respecto a los demás casos de estudio; dicho caso se realizó a 150 RPM durante 1.5 minutos para la mezcla rápida, 60 RPM durante 15 minutos para la mezcla lenta y 20 minutos como tiempo de sedimentación. Asimismo, se pudo observar que la turbidez presentó una tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio.

Tabla 35
Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día lunes

Dosis	Remoción de turbidez [%]				
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
9 ml	44.53	55.11	52.18	46.96	43.08
10 ml	48.98	54.00	54.77	48.24	51.58
11 ml	57.56	59.24	60.21	51.68	52.76
12 ml	56.09	61.86	63.73	53.46	55.99
13 ml	47.61	58.15	60.49	48.44	49.23
14 ml	49.47	57.65	54.44	47.38	46.56

Fuente: Autoría propia.

Figura 20
 Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día lunes



Fuente: Autoría propia.

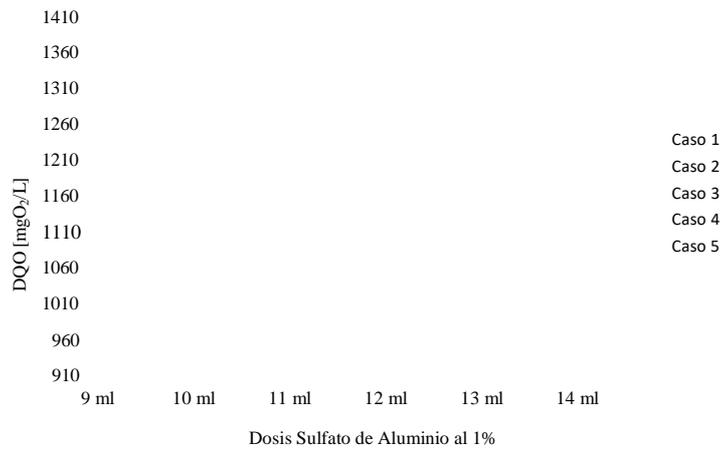
De la tabla 35 y figura 20, se mostraron los resultados de la eficiencia de la remoción de la turbidez inicial, observándose una máxima remoción del 57.56% para el Caso 1, 61.86% para el Caso 2, 63.73% para el Caso 3, 53.46% para el Caso 4 y 55.99% para el Caso 5. Siendo la dosis óptima 12 ml de sulfato de aluminio al 1% para el Caso 3, el cual presentó la máxima remoción de la turbidez inicial respecto a los demás casos de estudio.

Tabla 36
 Valores de la DQO postratamientos – Casos día lunes
 DQO [mgO₂/L]

Dosis	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
9 ml	1391.82	1351.54	1298.24	1281.58	1324.74
10 ml	1163.89	1257.31	1324.85	1247.37	1184.95
11 ml	1064.84	1053.62	1014.36	1087.18	998.26
12 ml	1151.77	1006.07	942.84	981.89	951.11
13 ml	1314.46	1098.33	1152.65	1197.63	1102.52
14 ml	1325.41	1102.68	1265.05	1295.14	1165.17

Fuente: Autoría propia.

Figura 21
Variación de la DQO postratamientos – Casos día lunes



Fuente: Autoría propia.

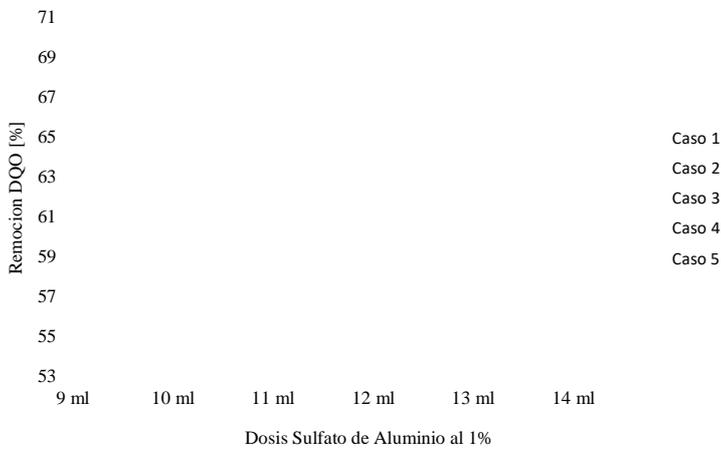
De la tabla 36 y figura 21, se observó que, luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se obtuvo una disminución máxima de la demanda química de oxígeno inicial de 3091.72 mgO₂/L a 1064.84 mgO₂/L para el Caso 1, 1006.07 mgO₂/L para el Caso 2, 942.84 mgO₂/L para el Caso 3, 981.89 mgO₂/L para el Caso 4 y 951.11 mgO₂/L para el Caso 5. De este análisis se determinó que la dosis óptima fue de 12 ml de sulfato de aluminio al 1%, correspondiente al Caso 3, el cual presentó la máxima disminución de la demanda química de oxígeno respecto a los demás casos de estudio; dicho caso se realizó a 150 RPM durante 1.5 minutos para la mezcla rápida, 60 RPM durante 15 minutos para la mezcla lenta y 20 minutos como tiempo de sedimentación. Asimismo, se pudo observar que al igual que la turbidez, la demanda química de oxígeno presentó una similar tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio definidos.

Tabla 37
 Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día lunes

Dosis	Remoción de DQO [%]				
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
9 ml	54.98	56.29	58.01	58.55	57.15
10 ml	62.35	59.33	57.15	59.65	61.67
11 ml	65.56	65.92	67.19	64.84	67.71
12 ml	62.75	67.46	69.50	68.24	69.24
13 ml	57.48	64.48	62.72	61.26	64.34
14 ml	57.13	64.33	59.08	58.11	62.31

Fuente: Autoría propia.

Figura 22
 Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día lunes



Fuente: Autoría propia.

De la tabla 37 y grafico figura 22, se mostraron los resultados de la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno inicial, observándose una remoción máxima del 65.56% para el Caso 1, 67.46% para el Caso 2, 69.50% para el Caso 3, 68.24% para el Caso 4 y 69.24% para el Caso 5. Siendo la

dosis óptima 12 ml de sulfato de aluminio al 1% para el Caso 3, el cual presentó la máxima remoción de la DQO inicial respecto a los demás casos de estudio.

4.3.2. Casos 6 al 10

Tabla 38

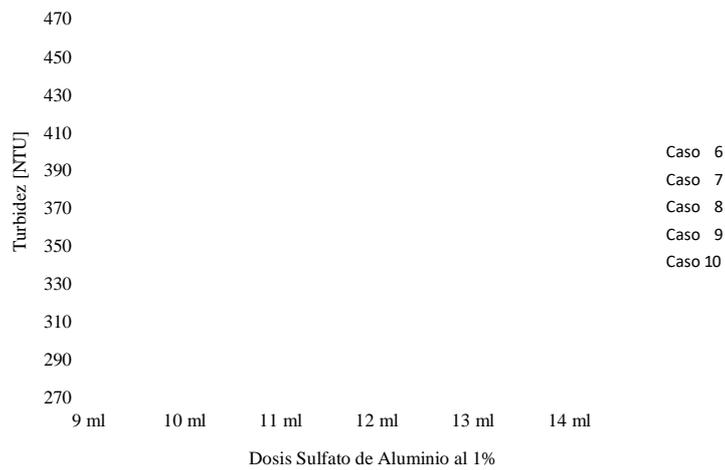
Valores de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles

Dosis	Turbidez [NTU]				
	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10
9 ml	463	375	363	394	387
10 ml	395	342	335	391	406
11 ml	380	362	324	331	383
12 ml	336	295	280	349	365
13 ml	359	315	334	376	381
14 ml	449	371	346	392	434

Fuente: Autoría propia.

Figura 23

Variación de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles



Fuente: Autoría propia.

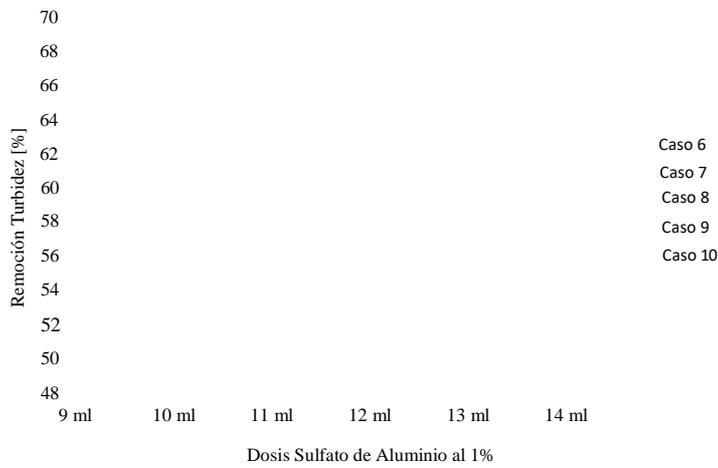
De la tabla 38 y figura 23, se mostró que, luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se logró una disminución máxima de la turbidez inicial de 910 NTU a 336 NTU para el Caso 6, 295 NTU para el Caso 7, 280 NTU para el Caso 8, 331 NTU para el Caso 9 y 365 NTU para el Caso 10. De este análisis se determinó que la dosis óptima fue de 12 ml de sulfato de aluminio al 1%, correspondiente al Caso 8, el cual presentó la máxima disminución de la turbidez respecto a los demás casos de estudio; dicho caso se realizó a 150 RPM durante 1.5 minutos para la mezcla rápida, 60 RPM durante 15 minutos para la mezcla lenta y 20 minutos como tiempo de sedimentación. Asimismo, se pudo observar que la turbidez presentó una tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio.

Tabla 39
Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles

Dosis	Remoción de turbidez [%]				
	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10
9 ml	49.14	58.84	60.14	56.67	57.43
10 ml	56.64	62.37	63.16	57.07	55.43
11 ml	58.29	60.27	64.45	63.59	57.89
12 ml	63.11	67.62	69.22	61.70	59.92
13 ml	60.56	65.34	63.34	58.69	58.12
14 ml	50.66	59.24	62.02	56.91	52.27

Fuente: Autoría propia.

Figura 24
 Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día miércoles



Fuente: Autoría propia.

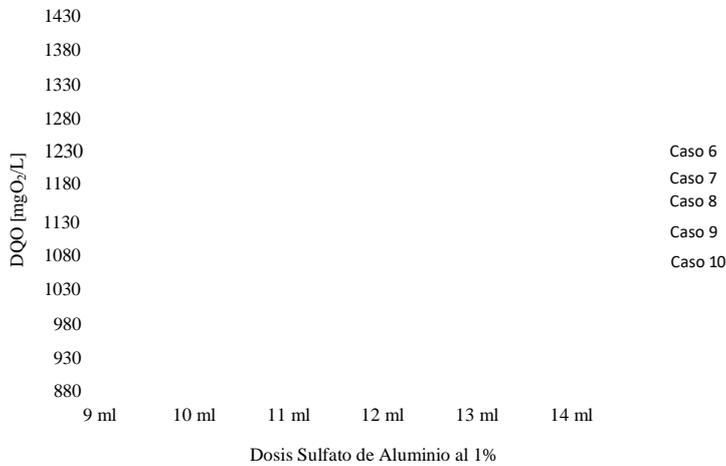
De la tabla 39 y figura 24, se mostraron los resultados de la eficiencia de la remoción de la turbidez inicial, observándose una máxima remoción del 63.11% para el Caso 6, 67.62% para el Caso 7, 69.22% para el Caso 8, 63.59% para el Caso 9 y 59.22% para el Caso 10. Siendo la dosis óptima 12 ml de sulfato de aluminio al 1% para el Caso 8, el cual presentó la máxima remoción de la turbidez inicial respecto a los demás casos de estudio.

Tabla 40
Valores de la DQO postratamientos – Casos día miércoles

Dosis	DQO [mgO ₂ /L]				
	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10
9 ml	1371.65	1187.35	1294.29	1402.06	1132.17
10 ml	1243.08	1241.47	1268.18	1236.22	1065.36
11 ml	1028.74	1132.28	1035.46	1083.85	1047.51
12 ml	974.63	936.21	987.62	1187.36	914.92
13 ml	1147.91	1025.54	1121.03	1198.19	985.85
14 ml	1205.32	1193.61	1090.54	1145.53	1178.49

Fuente: Autoría propia.

Figura 25
Variación de la DQO postratamientos – Casos día miércoles



Fuente: Autoría propia.

De la tabla 40 y figura 25, se observó que, luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se obtuvo una disminución máxima de la demanda química de oxígeno inicial de 3060.77 mgO₂/L a

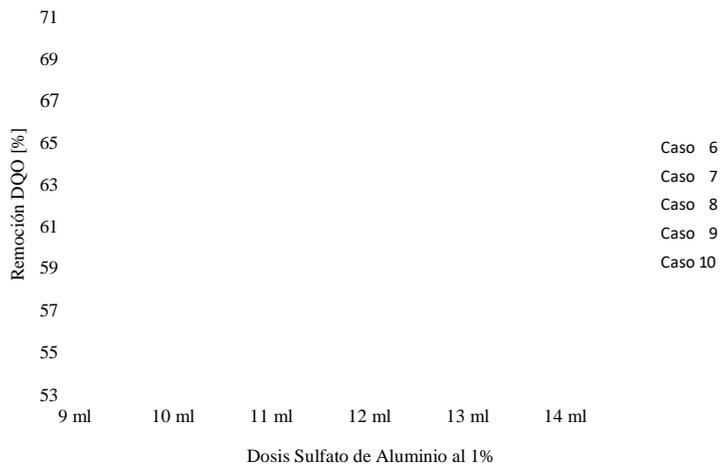
974.63 mgO₂/L para el Caso 6, 936.21 mgO₂/L para el Caso 7, 987.62 mgO₂/L para el Caso 8, 1083.85 mgO₂/L para el Caso 9 y 914.92 mgO₂/L para el Caso 10. De este análisis se determinó que la dosis óptima fue de 12 ml de sulfato de aluminio al 1%, correspondiente al Caso 10, el cual presentó la máxima disminución de la demanda química de oxígeno respecto a los demás casos de estudio; dicho caso se realizó a 150 RPM durante 1.5 minutos para la mezcla rápida, 60 RPM durante 15 minutos para la mezcla lenta y 20 minutos como tiempo de sedimentación. Asimismo, se pudo observar que al igual que la turbidez, la demanda química de oxígeno presentó una similar tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio definidos.

Tabla 41
Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día miércoles

Dosis	Remoción de la DQO [%]				
	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10
9 ml	55.19	61.21	57.71	54.19	63.01
10 ml	59.39	59.44	58.57	59.61	65.19
11 ml	66.39	63.01	66.17	64.59	65.78
12 ml	68.16	69.41	67.73	61.21	70.11
13 ml	62.50	66.49	63.37	60.85	67.79
14 ml	60.62	61.00	64.37	62.57	61.50

Fuente: Autoría propia.

Figura 26
 Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día miércoles



Fuente: Autoría propia.

De la tabla 41 y figura 26, se mostraron los resultados de la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno inicial, observándose una remoción máxima del 65.56% para el Caso 6, 67.46% para el Caso 7, 69.50% para el Caso 8, 68.24% para el Caso 9 y 69.24% para el Caso 10. Siendo la dosis óptima 12 ml de sulfato de aluminio al 1% para el Caso 10, el cual presentó la máxima remoción de la DQO inicial respecto a los demás casos de estudio.

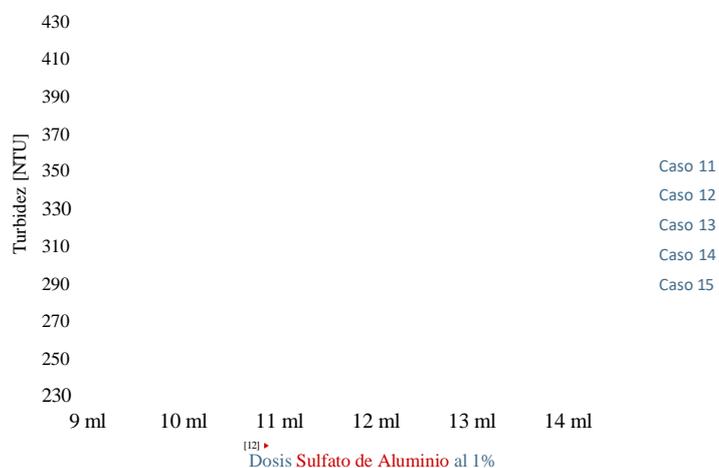
4.3.3. Casos 11 al 15

Tabla 42
Valores de la turbidez postratamientos – Casos día jueves

Dosis	Turbidez [NTU]				
	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15
9 ml	393	350	324	385	422
10 ml	323	305	339	354	369
11 ml	367	272	289	378	359
12 ml	325	295	256	318	338
13 ml	373	310	319	388	339
14 ml	370	285	323	370	395

Fuente: Autoría propia.

Figura 27
Variación de la turbidez postratamientos – Casos día jueves



Fuente: Autoría propia.

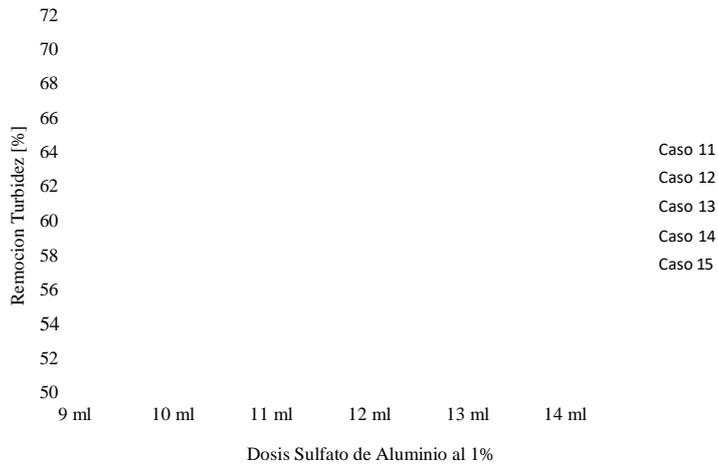
De la tabla 42 y figura 27, se mostró que, luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se logró una disminución máxima de la turbidez inicial de 859 NTU a 323 NTU para el Caso 11, 272 NTU para el Caso 12, 256 NTU para el Caso 13, 318 NTU para el Caso 14 y 338 NTU para el Caso 15. De este análisis se determinó que la dosis óptima fue de 12 ml de sulfato de aluminio al 1%, correspondiente al Caso 13, el cual presentó la máxima disminución de la turbidez respecto a los demás casos de estudio; dicho caso se realizó a 150 RPM durante 1.5 minutos para la mezcla rápida, 60 RPM durante 15 minutos para la mezcla lenta y 20 minutos como tiempo de sedimentación. Asimismo, se pudo observar que la turbidez presentó una tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio.

Tabla 43
Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día jueves

Dosis	Remoción de turbidez [%]				
	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15
9 ml	54.23	59.26	62.34	55.16	50.88
10 ml	62.44	64.44	60.49	58.73	57.00
11 ml	57.22	68.39	66.34	56.02	58.17
12 ml	62.21	65.68	70.21	63.00	60.69
13 ml	56.54	63.89	62.81	54.81	60.49
14 ml	56.96	66.82	62.41	56.94	53.99

Fuente: Autoría propia.

Figura 28
Porcentajes de remoción de la turbidez postratamientos – Casos día jueves



Fuente: Autoría propia.

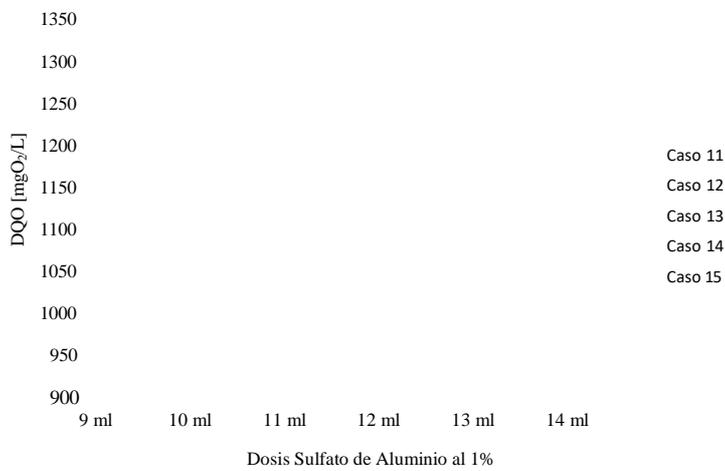
De la tabla 43 y figura 28, se mostraron los resultados de la eficiencia de la remoción de la turbidez inicial, observándose una máxima remoción del 62.64% para el Caso 11, 68.39% para el Caso 12, 70.21% para el Caso 13, 63.00% para el Caso 14 y 60.69% para el Caso 15. Siendo la dosis óptima 12 ml de sulfato de aluminio al 1% para el Caso 13, el cual presentó la máxima remoción de la turbidez inicial respecto a los demás casos de estudio.

Tabla 44
Valores de la DQO postratamientos – Casos día jueves

Dosis	DQO [mgO ₂ /L]				
	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15
9 ml	1213.59	1332.54	1336.57	1201.03	1300.25
10 ml	1011.24	1254.29	1311.25	1147.21	1185.45
11 ml	998.26	1074.37	1247.38	1154.23	1119.03
12 ml	1002.69	984.79	1146.14	977.57	911.25
13 ml	1011.82	1112.36	1254.16	1078.32	978.36
14 ml	1047.35	1097.11	1178.69	1058.59	997.04

Fuente: Autoría propia.

Figura 29
Variación de la DQO postratamientos – Casos día jueves



Fuente: Autoría propia.

De la tabla 44 y figura 29, se observó que, luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se obtuvo una disminución máxima de la demanda química de oxígeno inicial de 3001.98 mgO₂/L a 998.26 mgO₂/L para el Caso 11, 984.79 mgO₂/L para el Caso 12, 1146.14

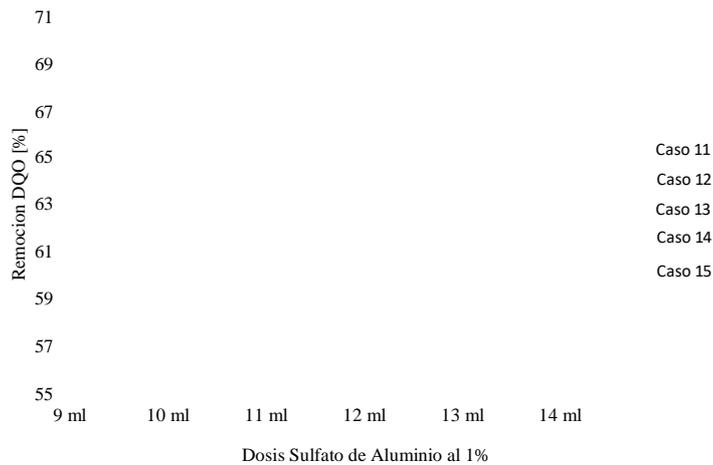
mgO₂/L para el Caso 13, 977.57 mgO₂/L para el Caso 14 y 911.25 mgO₂/L para el Caso 15. De este análisis se determinó que la dosis óptima fue de 12 ml de sulfato de aluminio al 1%, correspondiente al Caso 15, el cual presentó la máxima disminución de la demanda química de oxígeno respecto a los demás casos de estudio; dicho caso se realizó a 150 RPM durante 1.5 minutos para la mezcla rápida, 60 RPM durante 10 minutos para la mezcla lenta y 20 minutos como tiempo de sedimentación. Asimismo, se pudo observar que al igual que la turbidez, la demanda química de oxígeno presentó una similar tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio definidos.

Tabla 45
Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día jueves

Dosis	Remoción de la DQO [%]				
	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15
9 ml	59.57	55.61	55.48	59.99	56.69
10 ml	66.31	58.22	56.32	61.78	60.51
11 ml	66.75	64.21	58.45	61.55	62.72
12 ml	66.60	67.20	61.82	67.44	69.65
13 ml	66.29	62.95	58.22	64.08	67.41
14 ml	65.11	63.45	60.74	64.74	66.79

Fuente: Autoría propia.

Figura 30
 Porcentajes de remoción de la DQO postratamientos – Casos día jueves



Fuente: Autoría propia.

De la tabla 45 y figura 30, se mostraron los resultados de la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno inicial, observándose una remoción máxima del 65.75% para el Caso 11, 67.20% para el Caso 12, 61.82% para el Caso 13, 67.44% para el Caso 14 y 69.65% para el Caso 15. Siendo la dosis óptima 12 ml de sulfato de aluminio al 1% para el Caso 15, el cual presentó la máxima remoción de la DQO inicial respecto a los demás casos de estudio.

4.3.4. ^[16] Dosis óptima

Luego de haber realizado el análisis de los resultados obtenidos, se determinaron las dosis óptimas de sulfato de aluminio al 1%, las cuales evidenciaron una mayor remoción de la carga orgánica expresada en valores de turbidez y demanda química de oxígeno.

$$DO_{mg/L} = \frac{DO_{ml} \cdot C}{V_j}$$

Donde:

$DO_{mg/L}$: Dosis óptima del coagulante [mg/L]

DO_{ml} : Dosis óptima del coagulante de Sulfato de Aluminio al 1% en mililitros [ml]

C: Concentración de la solución coagulante. Concentración al 1% equivale a 10 g/L

Vj: Capacidad de la jarra o beaker. Para el presente estudio la jarra fue de 500 ml.

$$DO_{mg/L} = \frac{12ml \times 10000mg/L}{500ml}$$

$$DO_{mg/L} = 240 \text{ mg/L}$$

Tabla 46

Valores de las dosis óptimas

Casos	Dosis Óptima [ml]	Dosis Óptima [mg/L]
Lunes	12 ml	240 mg/L
Miércoles	12 ml	240 mg/L
Jueves	12 ml	240 mg/L

Fuente: Autoría propia.

4.4. Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de la hipótesis, se realizó el análisis estadístico inferencial de los datos de la Turbidez y Demanda Química de Oxígeno, dado que la Carga Orgánica estuvo expresada en términos de dichos parámetros. De esta manera, se contrastó directamente la hipótesis propuesta.

a. Planteamiento de las hipótesis estadísticas para ANOVA de un factor

$H_0: \mu = \mu$: Las medias de los casos de estudio son iguales.

El sulfato de aluminio no incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

Ha: $\neq \mu$: Las medias de los casos de estudio son diferentes.

El sulfato de aluminio incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

b. Determinación del nivel de significancia

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$ (5%)

c. Verificación de la normalidad

Se realizó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (para muestras menores a 50).

Se plantearon las siguientes hipótesis para la distribución de datos de la turbidez:

Ho: La distribución de datos de la turbidez presentan una distribución normal. (hipótesis de homogeneidad)

Ha: La distribución de datos de la turbidez no presenta una distribución normal. (hipótesis de diferencias)

Se plantearon las siguientes hipótesis para la distribución de datos de la DQO:

Ho: La distribución de datos de la DQO presentan una distribución normal. (hipótesis de homogeneidad)

Ha: La distribución de datos de la DQO no presenta una distribución normal. (hipótesis de diferencias)

Tabla 47
Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para datos de la turbidez

TRATAMIENTO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Casos Sin Tratamiento	0,202	6	0,200*	0,853	6	0,167
Caso 1	0,261	6	0,200*	0,913	6	0,457
Caso 2	0,159	6	0,200*	0,974	6	0,920
Caso 3	0,239	6	0,200*	0,923	6	0,525
Caso 4	0,305	6	0,084	0,858	6	0,183
Caso 5	0,145	6	0,200*	0,989	6	0,986
Caso 6	0,184	6	0,200*	0,936	6	0,627
Caso 7	0,218	6	0,200*	0,904	6	0,395
Caso 8	0,244	6	0,200*	0,907	6	0,416
Caso 9	0,263	6	0,200*	0,837	6	0,123
Caso 10	0,259	6	0,200*	0,919	6	0,496
Caso 11	0,285	6	0,139	0,866	6	0,209
Caso 12	0,228	6	0,200*	0,933	6	0,606
Caso 13	0,304	6	0,088	0,873	6	0,237
Caso 14	0,235	6	0,200*	0,858	6	0,182
Caso 15	0,183	6	0,200*	0,917	6	0,486

*.172E1 esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: SPSS Statistics 26.

Cada caso de estudio presentó 6 muestras de análisis, por ende, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (muestras menores a 50). De la tabla 48, se apreció que los niveles de significancia para todos los casos de estudio fueron mayores a 0.05, por lo que se aceptó que la distribución de datos para todos los casos presentó fue normal.

P-valor obtenidos 0.05

Se acepta Ho: La distribución de datos de la turbidez presentan una distribución normal.

Tabla 48
Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para datos de la DQO

TRATAMIENTO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Casos Sin Tratamiento	0,257	6	0,200 [*]	0,827	6	0,101
Caso 1	0,234	6	0,200 [*]	0,926	6	0,553
Caso 2	0,292	6	0,119	0,900	6	0,375
Caso 3	0,233	6	0,200 [*]	0,895	6	0,348
Caso 4	0,218	6	0,200 [*]	0,889	6	0,312
Caso 5	0,152	6	0,200 [*]	0,968	6	0,880
Caso 6	0,154	6	0,200 [*]	0,974	6	0,918
Caso 7	0,221	6	0,200 [*]	0,913	6	0,454
Caso 8	0,205	6	0,200 [*]	0,915	6	0,468
Caso 9	0,233	6	0,200 [*]	0,916	6	0,474
Caso 10	0,139	6	0,200 [*]	0,983	6	0,966
Caso 11	0,334	6	0,035	0,659	6	0,106
Caso 12	0,260	6	0,200 [*]	0,936	6	0,624
Caso 13	0,176	6	0,200 [*]	0,950	6	0,740
Caso 14	0,209	6	0,200 [*]	0,960	6	0,817
Caso 15	0,219	6	0,200 [*]	0,953	6	0,762

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: SPSS Statistics 26.

Cada caso de estudio presentó 6 muestras de análisis, por ende, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (muestras menores a 50). De la tabla 49, se apreció que los niveles de significancia para todos los casos de estudio fueron mayores a 0.05, por lo que se aceptó que la distribución de datos para todos los casos presentó fue normal.

P-valor obtenidos 0.05

Se acepta Ho: La distribución de datos de la DQO presentan una distribución normal.

d. Verificación de la homogeneidad de varianzas

Se realizó mediante el Estadístico de Levene.

Se plantearon las siguientes hipótesis para la homogeneidad de varianzas:

Ho: Las varianzas de los casos de estudio son iguales. (hipótesis de homogeneidad)

Ha: Las varianzas de los casos de estudio no son iguales. (hipótesis de diferencias)^[72]

Tabla 49
Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de la turbidez

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,114	15	80	0,358

Fuente: SPSS Statistics 26.

De la tabla 50, se apreció que el nivel de significancia para el estadístico de Levene fue de 0.358, siendo mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ establecido, aceptando que los casos de estudio presentaron homogeneidad de varianzas.

P-valor 0.05
0.358 0.05

Se acepta Ho: Las varianzas de los casos de estudio son iguales.

Tabla 50
Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de la DQO

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,200	15	80	0,289

Fuente: SPSS Statistics 26.

De la tabla 51, se apreció que el nivel de significancia para el estadístico de Levene fue de 0.289, siendo mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ establecido, aceptando que los casos de estudio presentaron homogeneidad de varianzas.

P-valor 0.05
0.289 0.05

Se acepta Ho: Las varianzas de los casos de estudio son iguales.

e. Estadístico de prueba

Se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) de un Factor.

Tabla 51
Prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para la turbidez

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1824035,740	15	121602,383	100,294	0,000
Dentro de grupos	96997,167	80	1212,465		
Total	1921032,906	95			

Fuente: SPSS Statistics 26.

De la tabla 52, se observó que el nivel de significancia fue de P-valor = 0.000 siendo menor a $\alpha = 0.05$, por lo que se aceptó la Hipótesis Alternativa.

P-valor $\leq \alpha$
0.000 0.05

Se acepta Ha: Las medias de los casos de estudio son diferentes.

Es decir: El sulfato de aluminio incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

Tabla 52
Prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para la DQO

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	20739775,877	15	1382651,725	100,018	0,000
Dentro de grupos	1105922,111	80	13824,026		
Total	21845697,989	95			

Fuente: SPSS Statistics 26.

De la tabla 53, se observó que el nivel de significancia fue de P-valor = 0.000 siendo menor a $\alpha = 0.05$, por lo que se aceptó la Hipótesis Alternativa.

$$P\text{-valor} \leq \alpha$$

$$0.000 \leq 0.05$$

Se acepta H_a : Las medias de los casos de estudio son diferentes.

[11] ▶

Finalmente, al contrastar los datos de la turbidez y demanda química de oxígeno (DQO), se determinó que éstas tuvieron relación directa en la remoción o disminución de la carga orgánica, por lo que se aceptó la Hipótesis Alternativa, concluyendo que: El sulfato de aluminio incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

4.5. Discusión de resultados

Castro (2017), en su trabajo de investigación experimental, referente al tratamiento de aguas residuales del efluente del camal municipal "El Porvenir", basado en el proceso de coagulación- floculación a través de la prueba de jarras, obtuvo una disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) de 12121 mgO₂/L a 500 mgO₂/L, logrando una remoción total del 95.85%, con una dosis óptima de 36 ml de disolución de sulfato de aluminio al 1% como coagulante, equivalente a 360 mg/L.

[5] ▶

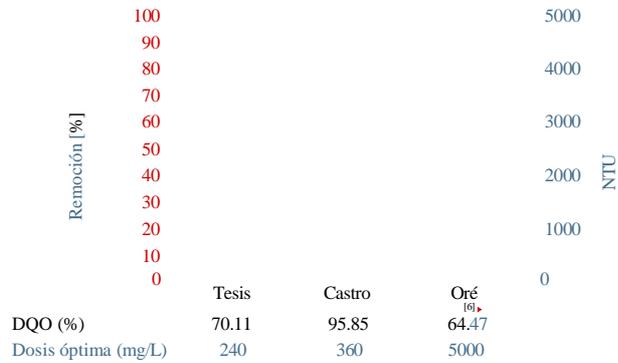
Murrieta (2017), en su estudio realizado con la finalidad de comprobar el beneficio y la eficacia de los procesos coagulación y floculación, como parte fisicoquímica en el tratamiento de las aguas residuales industriales de efluentes del camal municipal de la ciudad de Rioja. Los ensayos correspondientes fueron ejecutados mediante la prueba de jarras, logrando obtener una disminución del grado de turbidez de las aguas residuales del camal, de 537 NTU a 4.85 NTU equivalente al 99.09% de remoción total, para ello, aplicó una dosis óptima de 6 ml de sulfato de aluminio a una concentración del 1%, dicha dosis también se expresó como 120 mg/L.

Ore (2017), llevó a cabo una evaluación de la influencia del sulfato de aluminio en la reducción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del camal municipal de "Chupaca", de esta evaluación se observó que la demanda química de oxígeno (DQO) inicial de 1696 mgO₂/L a 1102.4 mgO₂/L, produciendo una remoción total del 64.47%; para lograr esa remoción utilizó una dosis de coagulante de sulfato de aluminio de 5000 mg/L.

Estos resultados obtenidos por los autores mencionados, presentaron variaciones significativas respecto a los resultados de esta investigación, en el caso de Castro (2017), la dosis óptima para lograr una remoción máxima de la demanda química de oxígeno fue de 3000 mg/L de coagulante de sulfato de aluminio, y en esta investigación se utilizó 240 mg/L, dicha variación responde a las características iniciales de las muestras recolectadas, pues en el caso de Castro (2017) el agua residual presentó una alta concentración de carga orgánica expresada en la DQO igual a 12121 mgO₂/L en comparación a los 3066.77 mgO₂/L de esta investigación; en consecuencia se obtuvieron dichos resultados. Los resultados comparados con los de Oré (2017), no fueron muy significativos, debido a que, las características iniciales de las muestras recolectadas del agua residual por dicho autor, presentó una concentración de carga orgánica expresada en la DQO igual a 1696 mgO₂/L en comparación a los 3066.77 mgO₂/L; de tal forma que, la dosis óptima para lograr una remoción máxima de la demanda química de oxígeno para Oré (2017) fue de 360 mg/L de coagulante de sulfato de aluminio, y en esta investigación se utilizó 240 mg/L. Respecto a la turbidez, se presentaron variaciones significativas, debido a que, la dosis óptima para lograr una remoción máxima de la turbidez fue de 120 mg/L de coagulante de sulfato de aluminio para Murrieta (2017), y en esta investigación fue

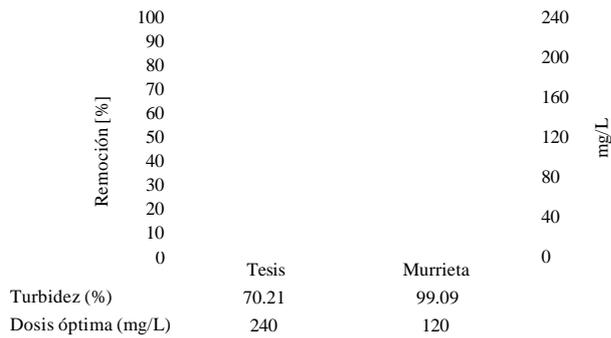
240 mg/L, al igual que en los casos anteriores dicha variación se debe a las características iniciales de las muestras recolectadas, para Murrieta (2017) la muestra de agua residual presentó una turbidez de 537 NTU en relación a los 859 NTU de esta investigación; debido a ello, se lograron dichos resultados.

Figura 31
Discusión de resultados respecto a la demanda química de oxígeno



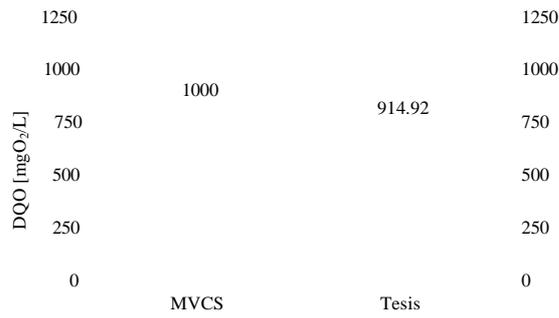
Fuente: Autoría propia.

Figura 32
Discusión de resultados respecto a la turbidez



Fuente: Autoría propia.

Figura 33
 Discusión de resultados respecto al D.S. N° 021-2009-VIVIENDA



Fuente: Autoría propia.

Con relación al Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que establece los ^[6] “Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”, ^[11] la demanda química de oxígeno (DQO) debe ser menor a 1000 mgO₂/L, sin embargo, en esta investigación se logró obtener una DQO de ^[2] 914.92 mgO₂/L luego del tratamiento con sulfato de aluminio a una dosis óptima de 240 mg/L. En consecuencia, se cumplió con lo referido en el ^[5] decreto supremo; cabe mencionar que el tratamiento realizado en esta investigación fue primario, ya que el camal municipal de Cajamarca no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y no se podría aplicar un tratamiento completo para cumplir satisfactoriamente con los Valores Máximos Admisibles (VMA) que establece Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

CAPÍTULO V.^[10] CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.^[25] Conclusiones

En esta investigación se evaluó la incidencia del sulfato de aluminio en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca. Cada uno de los capítulos de la tesis fue formulado con el objetivo de contribuir específicamente a la solución de un problema en concreto, y de esta forma obtener información relevante y evidencia técnica para la comprensión del tratamiento de efluentes de aguas residuales de un centro de faenado o camal.^[27]

Se consideraron 3 días distintos de recolección de muestras, la cual estuvo en función al número de matanzas diarias según lo indicado por el área de administración del camal municipal, siendo el día lunes el de alta matanza, miércoles el día de matanza media y jueves el día de baja matanza. Para cada día de recolección, se realizaron 5 casos de estudio (muestra con tratamiento o final) y 1 caso control (muestra sin tratamiento o inicial) obteniendo un total de 15 casos de estudio y 3 casos control.

Para cada caso de estudio se evaluó el grado de turbidez y la demanda química de oxígeno (DQO), los cuales son parámetros físico-químicos que determinaron la remoción de carga orgánica.^[4] Asimismo, se determinó la dosis óptima de coagulante de sulfato de aluminio al 1% que logró obtener la máxima eficiencia de remoción de carga orgánica.^[4] Los procedimientos de estimación se realizaron según la metodología propuesta.^[67] A partir del análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, se establecieron las siguientes conclusiones:

- La comparación de la turbidez correspondientes a los casos de estudio definidos presentó variaciones. Luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se logró una disminución máxima de la turbidez inicial:
 - ✓ Para el día lunes, de 960 NTU a 407 NTU (47.61% de remoción) para el Caso 1, 366 NTU (61.86% de remoción) para el Caso 2, 348 NTU (63.73% de remoción) para el Caso 3, 447 NTU (53.46% de remoción) para el Caso 4 y 423 NTU (55.99% de remoción) para el Caso 5;
 - ✓ Para el día miércoles, de 910 NTU a 336 NTU (63.11% de remoción) para el Caso 6, 295 NTU (67.62% de remoción) para el Caso 7, 280 NTU (69.22%

de remoción) para el Caso 8, 331 NTU (63.59% de remoción) para el Caso 9 y 365 NTU (59.92% de remoción) para el Caso 10 y;

- ✓ Para el día jueves, de 859 NTU a 323 NTU (62.44% de remoción) para el Caso 11, 272 NTU (68.39% de remoción) para el Caso 12, 256 NTU (70.21% de remoción) para el Caso 13, 318 NTU (63% de remoción) para el Caso 14 y 338 NTU (60.69% de remoción) para el Caso 15.

[6] ▶

- La comparación de la demanda química de oxígeno (DQO) correspondientes a los casos de estudio definidos presentó variaciones. Luego de aplicar las dosis (tratamientos) de sulfato de aluminio al 1%, se logró una disminución máxima de la demanda química de oxígeno inicial:

- ✓ Para el día lunes, de 3091.72 mgO₂/L a 1064.84 mgO₂/L (65.56% de remoción) para el Caso 1, 1006.07 mgO₂/L (67.46% de remoción) para el Caso 2, 942.84 mgO₂/L (69.50% de remoción) para el Caso 3, 981.89 mgO₂/L (68.24% de remoción) para el Caso 4 y 951.11 mgO₂/L (69.24% de remoción) para el Caso 5.

- ✓ Para el día miércoles, 3060.77 mgO₂/L a 974.63 mgO₂/L (68.16% de remoción) para el Caso 6, 936.21 mgO₂/L (69.41% de remoción) para el Caso 7, 987.62 mgO₂/L (67.73% de remoción) para el Caso 8, 1083.85 mgO₂/L (64.59% de remoción) para el Caso 9 y 914.92 mgO₂/L (70.11% de remoción) para el Caso 10.

- ✓ Para el día jueves, de 3001.98 mgO₂/L a 998.26 mgO₂/L (66.75% de remoción) para el Caso 11, 984.79 mgO₂/L (67.20% de remoción) para el Caso 12, 1146.14 mgO₂/L (61.82% de remoción) para el Caso 13, 977.57 mgO₂/L (67.44% de remoción) para el Caso 14 y 911.25 mgO₂/L (69.65% de remoción) para el Caso 15

- La dosis óptima utilizada para la máxima remoción de la turbidez y la demanda química de oxígeno (DQO), fue de 12 ml de solución de sulfato de aluminio al 1%, equivalente a 240 mg/L para todos los casos de estudio. Asimismo, se pudo

observar que la turbidez y la demanda química de oxígeno (DQO) presentaron una tendencia al aumento, a medida que se incrementaba la dosis óptima de sulfato de aluminio en los casos de estudio.

[4] ▶

- De los resultados obtenidos y del análisis estadístico realizado se pudo inferir que el sulfato de aluminio como coagulante incide en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

5.2. Recomendaciones

- Para lograr una precisa medición de la turbidez, es esencial considerar ciertas variables que pueden influir significativamente. Estas incluyen la presencia de residuos que puedan estar flotando o depositados, la posible coloración y la presencia de burbujas de aire en la muestra de agua que se está analizando. Estas interferencias deben ser eliminadas utilizando métodos o procedimientos que no alteren la composición de la muestra, ya que podrían llevar a obtener resultados incorrectos
- En relación a la medición de la demanda química de oxígeno (DQO), es recomendable efectuar la recopilación de las muestras en envases de vidrio en lugar de plástico, ya que los recipientes plásticos podrían contaminar la muestra con sustancias orgánicas, lo que podría provocar modificaciones en los resultados obtenidos. Además, es importante tener en consideración que la cuantificación realizada por el medidor de DQO puede variar según las características de las sustancias presentes, sus capacidades de oxidación, proporciones y otros factores. Por lo tanto, es esencial que la generación de resultados y su interpretación final se realicen bajo condiciones similares para todas las muestras.

REFERENCIAS

- Álvarez, H. (2019).^[2] Extracto de moringa (moringa oleífera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá (tesis de maestría).^[2] Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Arenas, E. (2019). Efecto de la remoción del aceite de las semillas de moringa oleífera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima, Perú: SEDAPAL - Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico.
- Barajas, C. L. y León, A. J. (2015).^[4] Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial (tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.
- Betancourt, W. Q., y Rose, J. B. (2004). Drinking water treatment processes for removal of Cryptosporidium and Giardia. *Veterinary Parasitology*, 126, 219–234.
- Briceño, Y. y Castillo, X. (2009). Diagnóstico ambiental y plan de manejo para el camal municipal de Zapotillo (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Castro, M. S. (2017).^[70] Disminución de la carga orgánica del efluente del camal municipal El Porvenir mediante el tratamiento con sulfato de aluminio al 1% (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.
- Chávez, N., Chilón, R., Lozano, M., Medina, E. y Tanta, G. (2019). Evaluación y alternativas de tratamiento de efluentes y residuos en el camal municipal de la ciudad de Cajamarca. Recuperado de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-cajamarca/bioingenieria/practica/bioingenieria-ix-visita-2-efluentes-camal/5887065/view>

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010).^[61] **Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales**. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.
- Espinoza, S. (2017). Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal del Distrito de Tumán (tesis de pregrado). Universidad de Lambayeque, Chilayo, Perú.
- Farhaoui, M., Hasnaoui, L. y Derraz, M. (2016). Optimization of Drinking Water Treatment Process by Modeling the Aluminum Sulfate Dose. *British Journal of Applied Science & Technology*, 17(1), 1-14. doi: 10.9734/BJAST/2016/26840
- Galindo, R. (2018). Opuntia ficus-indica como coagulante para remoción de solidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra (tesis de pregrado). Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Galindo, G.^[41] (2018). **Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo B en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca - Emapa Pasco (tesis de pregrado)**. Universidad Nacional Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú.
- Geng, Y. (2005). Application of Flocc Analysis for Coagulation Optimization at the Split Lake Water Treatment Plant (masters thesis). University of Manitoba, Winnipeg, Canadá.
- Hernández, S., Fernández, C. y Baptista, P. (2014).^[161] **Metodología de la investigación**. México, México: Editorial McGRAW-HILL.
- Irigoín, A. y Monteza, P. (2020). Remoción de la concentración de materia orgánica en aguas residuales del camal de José Leonardo Ortiz usando semillas de tamarindo (tamarindus indica) (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.^[72]
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018)**. Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017. Lima, Perú.

Keeley, J., Jarvis, P. y Judd, J. (2014). Coagulant Recovery from Water Treatment Residuals: A Review of Applicable Technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44, 2675-2719. doi: 10.1080/10643389.2013.829766

La Beta Radio (11 de febrero de 2015). Desagüe de camal municipal colapsa otra vez. Recuperado de <http://radiolabeta.com/php/det-noti.php?valor=locales&titulo=sistema-del-camal-desage-colapsa-nuevamente-en-barrio-san-jose>. (Fecha de ingreso: 07 de mayo de 2022).

La Beta Radio.^[77] (27 de abril de 2017). La inundación con aguas servidas del camal es constante. Recuperado de <http://radiolabeta.com/php/det-noti.php?valor=locales&titulo=nuevamente-buzon-de-desage-colapsa-en-inmediaciones-del-camal-municipal>.^[81] (Fecha de ingreso: 07 de mayo de 2020).

López, J. (2011). Evaluación de la Eficiencia de un reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y Manto de Lodos UASB para el Tratamiento de Aguas Residuales (tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

López, M.^[2] (2018). **Evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas** (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Luna, C. M.^[17] (2017). **Influencia del pH en la coagulación - sedimentación primaria de aguas residuales de un camal** (tesis de pregrado).^[17] Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.

Madueño, R. (2018). Tratamiento de efluentes de un reactor UASB mediante una mezcla de amonio cuaternario y hierro” (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Maza, D. (2013). Validación de métodos analíticos para: **DBO, DQO, nitritos, sólidos totales, cloruros y dureza total para análisis de aguas naturales, aguas de consumo humano y aguas residuales en el laboratorio de Ingeniería Ambiental** (tesis de pregrado).^[3] Universidad Católica de Loja, Loja, Ecuador.

- Ministerio de Agricultura y Riego (2012).^[57] ▶ **Decreto Supremo N° 015-2012-AG - Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto**. Perú: Ministerio Agricultura y Riego.
- Ministerio del Ambiente (2009).^[5] ▶ **Decreto Supremo N° -2009-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de camales y plantas de beneficio**. Perú: Ministerio del Ambiente.^[14] ▶
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (2009).^[14] ▶ **Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA - Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario**. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Moreno, B. (2006). Higiene e inspección de carnes I. Madrid, España: Editorial Diaz de Santos.
- Moreno, W. (2016).^[4] ▶ **Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo (tesis de pregrado)**. Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.
- Muñoz, D. (2005).^[5] ▶ **Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una población menor 2000 habitantes**. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 87-98.
- Murrieta, E. (2017). Determinación de la influencia del proceso de coagulación -floculación en la calidad del agua residual del camal municipal de la ciudad de Rioja - San Martin, 2016 (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martin - Tarapoto, Moyobamba, Perú.
- Nieto, R. y Huamán, J. (2019).^[16] ▶ **Optimización de los parámetros operacionales del proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un matadero de porcinos (tesis de pregrado)**. Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú.
- Oré, A. (2017).^[11] ▶ **Influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca (tesis de pregrado)**. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). Informe de fiscalización ambiental en aguas residuales. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827. (Fecha de ingreso: 07 de mayo de 2022).^[15]

Organización Panamericana de la Salud (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.^[3]
^[6]

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>. (Fecha de ingreso: 07 de mayo de 2020).^[6]

Radio Programas del Perú (2015). Cajamarca: Calles amanecen con sangre de res por colapso de tuberías. Recuperado de <https://rpp.pe/lima/actualidad/cajamarca-calles-amanecen-con-sangre-de-res-por-colapso-de-tuberias-noticia-764408>. (Fecha de ingreso: 07 de mayo de 2022).

Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación - floculación de una planta de tratamiento de agua potable (tesis de pregrado).^[4] Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.^[3]

Romero, J. (2005). Tratamiento de aguas residuales; teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.^[3]^[4]

Sainz, J. A. (2007). Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Madrid, España: Editorial Fundación EOI.

Sans, R. y Ribas, J. P. (1989). Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. Barcelona, España: Editorial Productica.

Stumm, W. y O'melia, C. R. (1968). Stoichiometry of coagulation. *American Water Works Association Journal*, 60, 514-539. doi: 10.1002/j.1551-8833.1968.tb03579.x^[0]

Vieytes, R. (2004). ^[16] **Metodología de la investigación en organizaciones, mercado y sociedad.** Epistemología y técnicas. Buenos Aires, Argentina: Editorial de las Ciencias.

Yonge, D. (2012). A Comparison Of Aluminum And Iron-based Coagulants For Treatment Of Surface Water In Sarasota County, Florida (masters thesis). University of Central Florida, Orlando, EE.UU.

Zhou Y., Liang, Z. y Wang, Y. (2008). Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate. *ELSEVIER*, 225(1), 301-311. doi: 10.1016/j.desal.2007.07.010

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico

Fotografía 1. Recolección de las muestras de agua residual realizadas el día lunes, correspondiente al día de matanza alta.

Fotografía 2. Recolección de las muestras de agua residual realizadas el día miércoles, correspondiente al día de matanza media.

Fotografía 3. Recolección de las muestras de agua residual realizadas el día jueves, correspondiente al día de matanza baja.

Fotografía 4. ⁽⁰⁾ Preparación de la solución de sulfato de aluminio al 1% (coagulante).

Fotografía 5. ^[12]• Habilitación de las dosis solución de sulfato de aluminio al 1%.

Fotografía 6. ^[2]• Preparación de las muestras de agua residual para los ensayos de la prueba de jarras.

Fotografía 7. Acondicionamiento y programación del equipo de jarras para la realización de las pruebas correspondientes a los casos de estudios definidos.

Fotografía 8. Medición de los parámetros físico-químicos de los casos de estudio luego del tratamiento realizado.

Fotografía 9. Escorrentía de las aguas residuales hacia la poza de acumulación.

Fotografía 10. Descolmatación de los residuos grandes en las pozas de acumulación.

Anexo 2. Matriz de consistencia metodológica

TÍTULO: “SULFATO DE ALUMINIO Y SU INCIDENCIA EN LA REMOCION DE CARGA ORGANICA EN AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CAJAMARCA”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
	GENERAL					Población
	Determinar la incidencia del sulfato de aluminio en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal [municipal] de Cajamarca.		INDEPENDIENTE Sulfato de aluminio	Concentración	Dosis	Conformada por el caudal de aguas residuales (efluentes) del camal municipal de Cajamarca.
	ESPECÍFICOS					Muestra Muestreo No Probabilístico - Muestras de Caso-Tipo. La muestra fue obtenida según lo especificado en la Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM
¿Incide el sulfato de aluminio en la remoción de carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca?	- Calcular los niveles de los parámetros físicos del agua residual del camal antes y después de la aplicación de sulfato de aluminio. - Calcular los niveles de los parámetros químicos del agua residual del camal antes y después de la aplicación de sulfato de aluminio. - Determinar la dosis óptima de solución de sulfato de aluminio al 1% la cual logra la máxima remoción de carga orgánica.	La aplicación de sulfato de aluminio incide en la remoción de la carga orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.	DEPENDIENTE Carga orgánica	Parámetros físicos	Turbidez	Unidad de análisis La unidad de análisis lo constituyó los 500 ml de agua residual muestreada en cada uno de los 6 vasos de precipitado de Griffin (beaker) para el Método de Jarras.
				Parámetros químicos	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método de investigación Método Deductivo.
					pH	Técnicas de investigación La técnica de investigación para la obtención de información será mediante la Experimentación.

Nota. Autoría Propia.

