

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ**

**RECUPERAÇÃO DO COAGULANTE DO LODO DA ETA CENTENARIO (PASTO,  
COLÔMBIA) E AVALIAÇÃO DO REUSO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E  
TRATAMENTO PRIMARIO AVANÇADO DE ESGOTO URBANO**

Ilha Solteira - SP  
2024

**CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ**

**RECUPERAÇÃO DO COAGULANTE DO LODO DA ETA CENTENARIO (PASTO,  
COLÔMBIA) E AVALIAÇÃO DO REUSO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E  
TRATAMENTO PRIMARIO AVANÇADO DE ESGOTO URBANO**

Documento para Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais

Orientador(a): Prof. Dr. Iván Andrés Sánchez Ortiz

Coorientador(a): Prof. Dr. Tsunao Matsumoto

Ilha Solteira - SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

V297r Vargas Velez, Cristian Danilo.  
Recuperação do coagulante do lodo da ETA centenário (pasto, colômbia) e avaliação do reuso para tratamento de água e tratamento primário avançado de esgoto urbano / Cristian Danilo Vargas Velez . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024  
112 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2024

Orientador: Iván Andrés Sánchez Ortiz

Coorientador: Tsunao Matsumoto

Inclui bibliografia

1. Lodo de estação de tratamento de água. 2. Recuperação do coagulante. 3. Acidificação. 4. Remoção.

## **IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA**

Esta pesquisa e seus resultados têm um impacto positivo em alternativas que auxiliam na correta gestão e destinação do Lodo de Estações de Tratamento de Água (LETA) os quais são gerados em quantidades significativas e que, atualmente, são despejados sem tratamento prévio nas águas superficiais, gerando problemas ambientais que colocam em risco os serviços ecossistêmicos para a sociedade em geral. As alternativas avaliadas nesta pesquisa para recuperação de coagulante apresentaram resultados eficazes e demonstraram sua capacidade de remover cor e turbidez, em esgoto urbano contribuindo para que futuros estudos padronizem metodologias de recuperação e reutilização que permitam dimensionar em escala real a implementação destes coagulantes recuperados como tratamento primário avançado de esgoto. Adicionalmente, estes processos são uma possibilidade para utilização de coagulantes recuperados que representem uma diminuição considerável dos custos operacionais e na aquisição de coagulantes puros para Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) ou para ETA's como à da empresa EMPOPASTO, onde foi realizada esta pesquisa e que utiliza sistemas de tratamento convencionais com adição de coagulantes à base de alumínio, para o correto gerenciamento e descarte deste subproduto.

## **POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH**

This research and its results have a positive impact on alternatives helping the correct management and disposal of Water Treatment Plants Sludge (WTPS), which is generated in significant quantities and is currently dumped out without prior treatment into surface waters causing environmental problems that put ecosystem services at risk for people in general. The evaluated alternatives for coagulant recovery in this research showed effective results and demonstrated their ability to remove color and turbidity in urban sewage, which contributes to future studies to standardize recovery and reuse methodologies that allow dimensioning the implementation of these recovered coagulants as an advanced primary sewage treatment on a real scale. In addition, these processes are a possibility for using recovered coagulants that represent a considerable reduction in operational costs and in the acquisition of pure coagulants for Sewage Treatment Stations (STS) or Water Treatment Plants (WTP) such as EMPOPASTO company, where this research was carried out and which uses conventional treatment systems adding aluminum-based coagulants for the correct management and disposal of this by-product.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RECUPERAÇÃO DO COAGULANTE DO LODO DE ETA CENTENÁRIO (PASTO, COLÔMBIA) E AVALIAÇÃO DO REUSO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E TRATAMENTO PRIMÁRIO AVANÇADO DE ESGOTO URBANOS


AUTOR: CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ

ORIENTADOR: IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ


COORIENTADOR: TSUNAO MATSUMOTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ (Participação Virtual)  
Departamento de Recursos Hidrobiológicos / Universidad de Narino

Documento assinado digitalmente  
 IVAN ANDRES SANCHEZ ORTIZ  
Data: 02/10/2024 23:07:05-0300  
Verifique em <https://validor.it.gov.br>

Profa. Dra. ROSANE FREIRE BOINA (Participação Virtual)  
Departamento de Química e Bioquímica / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP

Documento assinado digitalmente  
 ROSANE FREIRE BOINA  
Data: 02/10/2024 13:51:01-0300  
Verifique em <https://validor.it.gov.br>

Prof. Dr. ISMARLEY MORAIS (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Documento assinado digitalmente  
 ISMARLEY LAGE HORTA MORAIS  
Data: 02/10/2024 15:43:07-0300  
Verifique em <https://validor.it.gov.br>

Ilha Solteira, 02 de outubro de 2024

Dedico este trabalho à minha família, que com seu amor e educação, independentemente das diferentes circunstâncias da vida, estiveram presentes, apoiando-me incondicionalmente para cumprir todos os objetivos acadêmicos e pessoais.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da empresa EMPOPASTO S.A E.S.P., principalmente às áreas de produção e laboratório de águas, obrigado pelo financiamento e apoio técnico, nas diferentes análises realizadas nas suas instalações.

Agradeço ao Laboratório de Análises Especializado da Universidade de Nariño, pelo aconselhamento na análise de amostras por Espectrometria de Absorção Atômica, para a quantificação de recuperação de coagulantes.

Agradeço ao Mestre Arsenio Hidalgo, professor do Departamento de Matemática e Estatística da Universidade de Nariño, pela orientação nas diversas análises estatísticas realizadas neste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Iván Andrés Sánchez Ortiz, do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pelos ensinamentos em meu processo formativo em todas as etapas e pela vocação para a docência.

Agradeço ao Prof. Dr. Tsunao Matsumoto, do programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pelas contribuições no desenvolvimento deste trabalho e na minha formação.

Agradeço ao programa de Pós-graduação em Engenharia civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade e conhecimento proporcionados para minha formação como mestre.

“As universidades serão o que são suas bibliotecas” (Gelfand, 1968, p. 19, tradução nossa).

## RESUMO

Há décadas, as estações convencionais de tratamento de água utilizam soluções coagulantes à base de alumínio para remover substâncias coloidais e outras partículas suspensas na água bruta. Esse processo gera grande quantidade de um subproduto conhecido como Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), que geralmente é descartado em rios mais próximos sem tratamento prévio. O lodo é rico em alumínio, isso gera graves problemas ambientais para as águas superficiais e para os ecossistemas próximos, razão pela qual foram realizados diversos estudos para avaliar seu potencial de reutilização em diferentes processos como a agricultura, fabricação de materiais de construção, absorção de contaminantes e reutilização como coagulante. A recuperação do coagulante por meio da acidificação é uma das mais promissoras alternativas, que consiste na solubilização do alumínio presente no lodo após a adição de ácido sulfúrico, o que permitirá sua recuperação e posterior reutilização. O pH e velocidade de mistura são alguns dos fatores envolvidos nesse processo. Este trabalho avaliou dois tratamentos de recuperação de coagulante de lodo de alumínio da Estação de Tratamento de Água (ETA) Centenário (Pasto, Colômbia), o primeiro por meio de processos de acidificação utilizando ácido sulfúrico 98%, para obter 4 níveis diferentes de pH (1,5-2,0-2,5-3,0), os quais foram combinados com 4 níveis de velocidade de mistura (125-150-175-200 rpm) obtendo 16 tratamentos, o segundo foi um tratamento térmico de desidratação usando um forno a 200°C seguido de peneiramento em malha de 1x1 mm. Posteriormente, foi avaliada a capacidade desses coagulantes recuperados na remoção de cor e turbidez em esgoto urbano bruto e água bruta. Os principais resultados registrados indicaram que na metodologia de recuperação por acidificação, registrou os maiores valores de alumínio em pH 1,5 até 810,5 mg Al/L, sendo o pH a variável que mais influenciou nesse processo. Por outro lado, ao comparar os coagulantes recuperados pelos dois tratamentos, ficou evidente que os coagulantes obtidos pelo método ácido obtiveram maior remoção de cor e turbidez com valores de remoção até de 95,84% e 97,06% em esgoto e 69,78% e 69,73 na água bruta.

**Palavras-chave:** lodo de estação de tratamento de água; recuperação do coagulante; acidificação; remoção.

## ABSTRACT

For decades, conventional water treatment plants have used aluminum-based coagulant solutions to remove colloidal substances and other particles suspended in raw water. This process generates a large quantity of a by-product known as Water Treatment Plant Sludge (WTPS), which is usually dumped out in nearby rivers without prior treatment. This sludge is rich in aluminum, which creates serious environmental problems for surface waters and nearby ecosystems. This is the reason why several studies were carried out to evaluate its reuse potential in different processes such as agriculture, manufacture of building materials, absorption of contaminants and its reuse as a coagulant. The recovery of the coagulant through acidification is one of the most promising alternatives. This process consists of solubilizing the aluminum present in the sludge after adding sulfuric acid, which will allow its recovery and subsequent reuse. pH and mixing speed are some of the factors involved in this process. This work evaluated two coagulant recovery treatments from aluminum sludge from the Centenario Water Treatment Station (WTS) (Pasto, Colombia), the first through acidification processes using 98% sulfuric acid to obtain 4 different pH levels. (1.5-2.0-2.5-3.0), which were combined with 4 mixing speed levels (125-150-175-200 rpm) obtaining 16 treatments, the second was a thermal dehydration treatment using an oven at 200°C followed by sieving through a 1x1 mm mesh. Subsequently, the ability of these recovered coagulants to remove color and turbidity in raw urban sewage and raw water was evaluated. The main results recorded indicated that the acidification recovery methodology showed the highest aluminum values at pH 1.5 up to 810.5 mg Al/L, being pH the variable that influenced the process the most. On the other hand, when comparing the coagulants recovered by the two treatments, it was evident that the coagulants obtained by the acid method achieved greater color and turbidity removal with values of up to 95.84% and 97.06% in sewage and 69.78% and 69.73 in raw water.

**Keywords:** water treatment plant sludge; coagulant recovery; acidification; removal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estimado de lodo de alumínio produzido em alguns países por ano. ....	26
Figura 2- Destinação do lodo de ETA municípios brasileiros em percentual. ....	27
Figura 3 – Filtro prensa .....	28
Figura 4 – Filtro banda .....	29
Figura 5 – Centrifuga.....	30
Figura 6 - Descrição do sistema de tratamento.....	46
Figura 7 - ETA Centenário. ....	47
Figura 8 - A) Decantador convencional B) Decantador de alta taxa.....	48
Figura 9 - Amostragem de lodo da ETA. ....	49
Figura 10 - Câmara de inspeção onde convergem as duas drenagens dos decantadores.....	50
Figura 11 - Pó coagulante recuperado por tratamento térmico. ....	52
Figura 12 - <i>Jar Test</i> . ....	53
Figura 13 - Ponto de lançamento Juan XXIII.....	54
Figura 14 - Medição de parâmetros in situ. ....	57
Figura 15 - Amostragem de esgoto. ....	60
Figura 16 - Coagulante recuperado por tratamento térmico.....	62
Figura 17 - Resultados de remoção média de cor no esgoto com coagulante recuperado por tratamento térmico. ....	63
Figura 18 - Resultados de remoção média de turbidez no esgoto com coagulante recuperado por tratamento térmico. ....	63
Figura 19 - Coagulante recuperado por método ácido. ....	67
Figura 20 – Box plot para recuperação de coagulante em função de pH.....	69
Figura 21 – Box plot para recuperação de coagulante em função da velocidade de mistura.....	70
Figura 22 - Avaliação de remoção de cor com coagulante recuperado por método ácido no esgoto. ....	71

Figura 23 - Avaliação de remoção de turbidez com coagulante recuperado por método ácido no esgoto. ....	73
Figura 24 - Avaliação de remoção de cor com coagulante recuperado por método ácido na água bruta.....	74
Figura 25 - Comparação dos resultados de remoção de cor dos tratamentos e PAC utilizado pela ETA Centenário. ....	76
Figura 26 - Avaliação de remoção de turbidez com coagulante recuperado por método ácido em água bruta.....	77
Figura 27 - Comparação dos resultados de remoção de turbidez dos tratamentos e PAC utilizado na ETA Centenário. ....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela - 1. Coagulantes primários usualmente empregados no processo de coagulação.....	22
Tabela 2 - Resultados da recuperação de coagulante pelo método ácido e mistura mecânica.....	34
Tabela 3 - Resumo dos estudos sobre recuperação e reaproveitamento de coagulantes e sua eficiência na remoção de parâmetros de qualidade da água. ....	35
Tabela 4 - Resumo de usos alternativos de lodos de alumínio. ....	42
Tabela 4 - Resumo de usos alternativos de lodos de alumínio (Continuação).....	43
Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos avaliados no LETA.....	51
Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos avaliados em esgoto e água bruta. ....	55
Tabela 7 - combinação de tratamentos estabelecida para o delineamento experimental.....	56
Tabela 8 - Resultados de medição de parâmetros in situ no lodo da ETA Centenário.....	57
Tabela 9 - Valores de parâmetros físico-químicos avaliados no lodo da ETA Centenário (Ver anexo 8.1). ....	58
Tabela 10 – Valores de parâmetros físico-químicos avaliados no esgoto.....	60
(Ver anexo 8.2).....	60
Tabela 11 - Valores de parâmetros físico-químicos avaliados na água bruta .....	61
(Ver Anexo 8.2). ....	61
Tabela 12 - Resultados de remoção de cor na água bruta com coagulante recuperado por tratamento térmico. ....	64
Tabela 13 - Resultados de remoção de turbidez na água bruta com coagulante recuperado por tratamento térmico. ....	65
Tabela 14. Quantidade de ácido usado.....	66
Tabela 15 - Recuperação de alumínio (mg Al/L) por método ácido de recuperação (Ver anexo 8.3).....	67
Tabela 16 – Análise de Kruskal-Wallis para recuperação de alumínio.....	68

Tabela 17 – Análise de ANOVA para recuperação de alumínio.....	70
Tabela 18 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de cor no esgoto .....	72
Tabela 19 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de turbidez no esgoto.....	73
Tabela 20 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de cor na água bruta .....	75
Tabela 21 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de turbidez na água bruta .....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
ANOVA	Análise de Variância
CW	Constructed Wetlands
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EAA	Espectroscopia de Absorção Atômica
E.S.P	Empresa de Serviços Públicos
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estacao de Tratamento de Esgoto
H <sub>2</sub> S	Ácido Sulfídrico
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LETA	Lodo de Estação de Tratamento de água
NO <sub>3</sub>	Nitrato
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAC	Policloreto de Alumínio
PAm	Poliacrilamida
PO <sub>4</sub>	Fosfato
PT	Fosforo total
SA	Sociedade Anônima
SM	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
USEPA	United States Environmental Protection Agency
MEC	Ministério da Educação
OMS	Organização Mundial da Saúde
ZHC	Zonas Húmidas Construídas

## LISTA DE SÍMBOLOS

mL	Mililitros
mg/L	Miligramas por litro
L	Litro
NPM	Número Mais Provável
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
ppm	Partes por milhão
UPCo	Unidades de Platino Cobalto
$\mu\text{S/cm}$	MicroSiemens por centímetro
$\mu\text{m}$	Micrômetro
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
p-valor	Valor de probabilidade

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	OBJETIVOS.....	21
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>21</b>
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	22
<b>3.1</b>	<b>COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO .....</b>	<b>22</b>
3.1.1	Tipos de coagulação.....	23
3.1.2	Fatores intervenientes na coagulação .....	24
3.1.3	Tipos de floculação .....	24
3.1.4	Fatores intervenientes na floculação .....	25
3.1.5	Determinação da dose ideal de coagulante.....	25
<b>3.2</b>	<b>LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (LETA) .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>OPÇÕES DE DESAGUAMENTO DE LETA .....</b>	<b>28</b>
3.3.1	Filtro prensa.....	28
3.3.2	Filtro de banda.....	29
3.3.3	Centrífugas .....	29
<b>3.4</b>	<b>DISPOSIÇÃO DE LETA NA COLÔMBIA .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>LEGISLAÇÃO NA COLÔMBIA PARA A GESTÃO DE LODOS DE ETA .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6</b>	<b>ECONOMIA CIRCULAR E LETA.....</b>	<b>32</b>
<b>3.7</b>	<b>RECUPERAÇÃO DE ALUMÍNIO EM LETA .....</b>	<b>33</b>
<b>3.8</b>	<b>OUTRAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO DE LODOS DE ETA..</b>	<b>36</b>
<b>3.9</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>43</b>
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
<b>4.1</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ETA.....</b>	<b>48</b>
4.2.1	Amostragem de lodo.....	48

4.2.2	Caracterização físico-química.....	50
<b>4.3</b>	<b>MÉTODO DE RECUPERAÇÃO .....</b>	<b>51</b>
4.3.1	Método de recuperação por tratamento térmico .....	51
4.3.2	Método ácido de recuperação .....	52
4.3.3	Quantificação de alumínio recuperado .....	52
<b>4.4</b>	<b>REUTILIZAÇÃO DO COAGULANTE RECUPERADO .....</b>	<b>53</b>
4.4.1	Amostragem de esgoto e água bruta.....	54
4.4.2	Caracterização do esgoto e da água bruta.....	54
4.4.3	Avaliação de remoção de turbidez e cor.....	55
<b>4.5</b>	<b>DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANALISES ESTATÍSTICAS .....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>MEDIÇÃO DE PARÂMETROS IN SITU.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO LODO DA ETA .....</b>	<b>58</b>
5.2.1	Caracterização físico-química.....	58
<b>5.3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO E DA ÁGUA BRUTA.....</b>	<b>59</b>
5.3.1	Caracterização do esgoto.....	59
5.3.2	Caracterização da água bruta.....	61
<b>5.4</b>	<b>RECUPERAÇÃO PELO MÉTODO TÉRMICO .....</b>	<b>61</b>
<b>5.5</b>	<b>EFICIÊNCIA DO COAGULANTE RECUPERADO POR TRATAMENTO TÉRMICO .....</b>	<b>62</b>
5.5.1	Remoção de turbidez e cor em esgoto .....	62
<b>5.5.2</b>	<b>Remoção de turbidez e cor em água bruta.....</b>	<b>64</b>
<b>5.6</b>	<b>ACIDIFICAÇÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>5.7</b>	<b>RECUPERAÇÃO MÉTODO ÁCIDO.....</b>	<b>66</b>
<b>5.8</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RECUPERAÇÃO DE COAGULANTE .....</b>	<b>68</b>
5.8.1	Fator pH.....	68
5.8.2	Fator velocidade de mistura.....	69

<b>5.9</b>	<b>EFICIÊNCIA DO COAGULANTE RECUPERADO POR MÉTODO ACIDO...</b>	<b>71</b>
5.9.1	Remoção de cor no esgoto.....	71
5.9.2	Remoção de turbidez no esgoto.....	72
5.9.3	Remoção de cor na água bruta.....	74
5.9.4	Comparação dos resultados de remoção de cor PELOS TRATAMENTOS AVALIADOS E O PAC DA ETA.....	75
5.9.5	Remoção de turbidez na água bruta.....	76
5.9.6	Comparação dos resultados de remoção de turbidez PELOS TRATAMENTOS AVALIADOS E O PAC DA ETA.....	78
6	CONCLUSÃO.....	80
<b>6.1</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>80</b>
7	REFERÊNCIAS.....	81
8	ANEXOS.....	94
<b>8.1</b>	<b>RESULTADOS DO LABORATÓRIO DA ÁGUA EMPOPASTO.....</b>	<b>94</b>
<b>8.3</b>	<b>RESULTADOS DE MEDIÇÕES IN SITU.....</b>	<b>95</b>
<b>8.3</b>	<b>RESULTADOS ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA (EAA), LABORATÓRIO ESPECIALIZADO DA UNIVERSIDADE DE NARIÑO.....</b>	<b>96</b>
<b>8.4</b>	<b>RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....</b>	<b>105</b>
8.4.1	Método de recuperação Ácido.....	105
8.4.2	Remoção de cor no esgoto.....	107
8.4.3	Remoção de turbidez no esgoto.....	108
8.4.4	Remoção de cor na água bruta.....	109
8.4.5	Remoção de turbidez em água bruta.....	110
8.4.6	Dados do sistema diário de controle de qualidade da EMPOPASTO.....	111

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, a expansão das áreas urbanas e o desenvolvimento industrial geram uma demanda crescente de água em todo o mundo, o que leva a necessidade de sistemas eficientes para processos de purificação e posterior tratamento de esgoto (Zhao *et al.* 2018). Para aumentar a eficiência das estações de tratamento de água (ETA), geralmente é necessária a adição de produtos químicos, principalmente coagulantes, os quais auxiliam na remoção de sólidos suspensos e coloides da água; no entanto, esse processo gera subprodutos inevitáveis na forma de Lodos de Estação de Tratamento de água (LETA), que geram problemas para seu gerenciamento e descarte adequados. Somente no Canadá são geradas aproximadamente 6.660.000 toneladas por ano (Zhao *et al.* 2021 e Jin *et al.* 2018).

O descarte desse lodo também gera um grande custo econômico para os processos de produção de água tratada. Por exemplo na Holanda os custos aproximados são de \$ 37 – 50 milhões de dólares por ano e na Austrália \$ 6,2 milhões de dólares por ano (Ackah *et al.* 2018 e Kumar *et al.* 2020). Por esse motivo, é necessária a implementação de processos que proponham usos alternativos desses resíduos e sua posterior eliminação.

Pesquisadores de todo o mundo têm avaliado diferentes alternativas para o reaproveitamento de lodos de tratamento da água, principalmente os derivados do uso de coagulantes à base de alumínio (sulfato de alumínio e Policloreto de Alumínio (PAC)). Ruziqna *et al.* (2020), avaliaram a recuperação de alumínio por metodologias de acidificação e seu possível reuso para tratamento da água superficial, obtendo resultados positivos. Uma outra alternativa é o uso do coagulante recuperado como pré-tratamento em estações de tratamento de esgoto com processos de ultrafiltração. Os resultados mostram uma estratégia de reaproveitamento viável, o coagulante recuperado eliminou matéria orgânica, registrando valores de remoção de DQO de até 90%, além de reduzir a colmatação da membrana em até 34% (Mazari *et al.* 2018).

Também têm sido investigados para o tratamento das águas residuais da indústria têxtil na eliminação de corantes utilizados nesta indústria (Shiva *et al.* 2019), como substrato no desenvolvimento de sistemas de tratamento conhecidos como terras úmidas ou alagados ou ainda em inglês: Constructed Wetlands (CW) (Yang *et al.* 2021). Além disso, foi avaliado o potencial do uso do lodo como absorvente de baixo

custo para a imobilização de contaminantes, principalmente o fósforo (Odimegwu et al. 2018) e como co-condicionador do processo de desidratação do lodo das estações de tratamento de esgoto (ETE), obtendo resultados positivos na desidratação e reduzindo significativamente o uso de polímeros, gerando uma diminuição no custo do tratamento do lodo da ETE (Ren et. al. 2020). As alternativas supracitadas mostram um panorama favorável para a implementação de estratégias que permitam realizar um reaproveitamento sustentável do lodo da ETA Centenário.

A empresa de obras sanitárias EMPOPASTO S.A ESP, responsável pelo fornecimento de água potável à cidade de Pasto, Nariño (Colômbia), gera um volume significativo de lodo residual (entre 1.000 e 5.000 kg/dia), essa variação está relacionada às épocas de alta e baixa pluviosidade que ocorrem na área. Nas épocas de alta pluviosidade, gera-se um aumento na turbidez da água bruta que implica maiores doses de coagulante e, portanto, maior quantidade de lodo. O subproduto derivado principalmente da coagulação e demais processos, floculação e sedimentação, nas quais é utilizado o coagulante PAC, para remover impurezas incluindo partículas coloidais e substâncias orgânicas dissolvidas. Este resíduo é despejado sem nenhum tipo de tratamento prévio no rio Pasto, afetando negativamente o meio ambiente (García *et al.* 2014; Tabares, 2020). O que foi descrito anteriormente representa um problema social, econômico e ambiental para a região, o que requer a articulação da investigação, empresas públicas e entidades governamentais para a geração e implementação de estratégias que contribuam para uma solução integrada do problema.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Recuperar o coagulante presente nos lodos residuais do processo de purificação da ETA Centenário através de duas metodologias e avaliar a sua capacidade de coagulação em águas brutas e esgoto.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar de maneira físico-química os lodos residuais do processo de tratamento de água potável da ETA Centenário.
- Implementar dois tratamentos para a recuperação de coagulante a partir de Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA) e avaliar a capacidade de coagulação dos coagulantes recuperados em matrizes de água bruta e esgoto urbano do município de Pasto.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

A coagulação e floculação ocorrem em etapas sucessivas destinadas a superar as forças que estabilizam as partículas suspensas na solução aquosa. Na coagulação, que é a operação físico-química mais importante no tratamento de água potável, os coagulantes desestabilizam a carga elétrica das partículas suspensas e na floculação as partículas colidem umas com as outras para formar flocos maiores. (Katrivesis *et al.*, 2019). Eletrólitos como sulfato de alumínio, e PAC (Policloreto de Alumínio), são amplamente utilizados como coagulantes (Duan e Gregory, 2003). Na Tabela 1 são apresentados alguns dos coagulantes mais utilizados nos processos de purificação de água.

Tabela - 1. Coagulantes primários usualmente empregados no processo de coagulação

Nome comercial	Composição típica	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe (%)	Ponto de congelamento (°C)	Dosagens Usuais (mg/L)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Disponibilidade
Sulfato de alumínio	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	8,3 a 17,1	-----	- 8	10 a 60	600 a 1400	Sólido ou líquido
Cloreto férrico	FeCl <sub>3</sub>	-----	12 a 14	- 20 a - 50	5 a 40	1425	Líquido (39 a 45 %)
Sulfato férrico	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	-----	-----	-----	5 a 40	1530 a 1600	Sólido e Líquido (17 %)
Policloreto de Alumínio (PAC)	Al <sub>n</sub> (OH) <sub>m</sub> Cl <sub>3</sub>	6 a 10,5	-----	- 12	< 10	900	Sólido

Fonte: Adaptado de Libânio (2010).

A coagulação começa no mesmo momento em que o coagulante é adicionado à água e dura frações de segundo, consistindo basicamente em uma série de reações químicas entre o coagulante, a superfície das partículas, a alcalinidade da água e a própria água. Por outro lado, a floculação é o fenômeno pelo qual partículas já

desestabilizadas formam coágulos maiores (Valencia e Soto. 2000). Esses processos têm importância sanitária, pois contribuem na remoção e inativação de cistos de *Giardia* e oocistos *Cryptosporidium*, nas seguintes etapas de sedimentação e filtração. Esses parasitas são monitorados nos processos de verificação da qualidade da água pelo seu alto risco de causar problemas para saúde humana (Libânio, 2010).

### 3.1.1 Tipos de coagulação

De acordo com Valencia e Soto (2000) existem três tipos de coagulação:

#### a) Coagulação por neutralização de carga

Neste tipo de coagulação, a carga elétrica do coloide é neutralizada, anulando as forças eletrostáticas repulsivas. Essa neutralização geralmente é realizada pela aplicação de coagulantes à água; de forma que os cátions trivalentes de alumínio ou ferro neutralizam as cargas elétricas negativas que geralmente envolvem às partículas coloidais dispersas na água

#### b) Coagulação por compressão da dupla camada

A introdução de um eletrólito indiferente em um sistema coloidal provoca um aumento na densidade de carga na camada difusa e uma diminuição na “esfera” de influência das partículas, e ocorre coagulação por compressão da camada. Altas concentrações de íons positivos e negativos (alta força iônica) na água levam ao aumento do número de íons na camada difusa que, por permanecer eletricamente neutra, tende necessariamente a reduzir seu volume.

#### c) Coagulação por Ponte Química

Este processo supõe que uma molécula polimérica se liga à superfície de um coloide em um ou mais locais. Os sítios de adsorção livres podem ser ocupados por outros coloides, gerando uma ponte química. Isso gera um aumento de tamanho das partículas e sua precipitação.

### **3.1.2 Fatores intervenientes na coagulação**

Vários fatores interferem em maior ou menor grau no processo de coagulação, dentre eles o tipo de coagulante, o pH e alcalinidade da água bruta, a distribuição e tamanho das partículas que geram cor e turbidez, e a uniformidade de aplicação de produtos químicos na massa líquida. Ademais outros fatores que podem intervir são a concentração de íons, a concentração ideal da solução coagulante, a temperatura da água, o gradiente de velocidade e o tempo de agitação na unidade de mistura rápida (Libânio, 2010).

### **3.1.3 Tipos de floculação**

A mistura lenta para floculação pode ser realizada mecanicamente usando rotores de palhetas ou hidraulicamente, como resultado do movimento da água.

Os floculadores hidráulicos são de fluxo horizontal ou fluxo vertical, não utilizam energia elétrica reduzindo custos operacionais. O floculador de fluxo horizontal consiste em um tanque dividido por divisórias ou chicanas dispostos de tal forma que a água faça um percurso em torno das áreas livres, já no floculador vertical a água flui para cima e por baixo dos canais formados pelas chicanas, este tipo de floculadores tem a vantagem de ocupar menos espaço (Romero-Rojas, 1999). Devido ao seu baixo custo de construção, operação e manutenção, os floculadores hidráulicos são considerados uma tecnologia adequada para países em desenvolvimento (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2006).

Os floculadores mecânicos introduzem energia na água para garantir a mistura lenta por meio de agitadores mecânicos. O tipo de agitador mecânico mais comumente utilizado é o tipo pá, seja com eixo horizontal ou vertical, que confere movimento rotativo à água, bem como alguma turbulência interna. Existem também turbinas e impulsores de fluxo axial. Tendo em vista que o grau ideal de mistura é variável dependendo da qualidade da água, recomenda-se que o equipamento agitador seja de velocidade variável (Romero-Rojas, 1999).

### 3.1.4 Fatores intervenientes na floculação

A coagulação e todos os fatores envolvidos nela também são relevantes no processo de floculação. Além disso, o gradiente de velocidade e o tempo de detenção, também chamado tempo de floculação, são os principais fatores que afetam esse processo, também a geometria da câmara e das palhetas influenciam secundariamente. Tais condições determinarão o tamanho e a densidade dos flocos formados (Libânio, 2010).

#### a) Tempo de detenção

O tempo de detenção hidráulico corresponderia à razão entre o volume útil da unidade de floculação e a vazão afluyente à mesma. Este parâmetro abarca o tempo necessário à redução do número de partículas desestabilizadas, consequência dos choques promovidos pela energia dissipada na massa líquida (Libânio, 2010).

#### b) Gradiente de velocidade

As dimensões e a densidade dos flocos formados são fortemente influenciadas pelas colisões decorrentes das diferentes velocidades das linhas de corrente contíguas na seção transversal do fluxo. A relação tamanho/densidade do floco em função do gradiente de velocidade de floculação já foi comprovada experimentalmente, o emprego de gradientes de velocidade mais elevados tende a favorecer a formação de flocos mais densos e de menor dimensão e vice-versa (Libânio, 2010).

### 3.1.5 Determinação da dose ideal de coagulante

Para determinar a dose ideal de coagulante utiliza-se principalmente o equipamento *Jar Test*, que simula os processos de coagulação, floculação e sedimentação variando a velocidade de agitação, aplicada a um determinado volume da água (Díaz -Muñoz, 2017). As variáveis a se levar em conta para a utilização desta técnica são pH, temperatura, concentração de coagulante, sequência de aplicação, grau de agitação e tempo de sedimentação (Romero-Rojas, 2002).

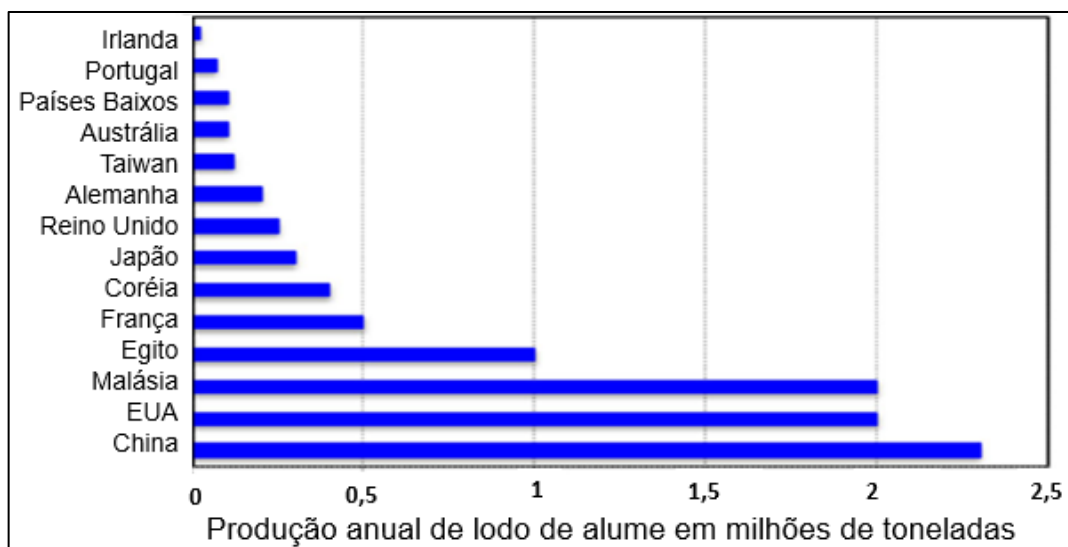
### 3.2 LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (LETA)

O LETA é um subproduto do tratamento e purificação de água convencional, o qual geralmente envolve processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. O lodo de tratamento acumula-se principalmente no tanque de decantação. Estima-se que o volume de LETA seja aproximadamente 1-3% do total de água utilizada no processo de purificação (Babatunde; Zhao, 2007).

As características desses lodos dependem da qualidade da água bruta, da eficiência das unidades operacionais envolvidas no tratamento e da qualidade final da água produzida. Esses lodos apresentam partículas de areia, argila, matéria orgânica e microrganismos; a composição química em geral, são compostas principalmente por  $\text{SiO}_2$ , seguido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , além de outros óxidos em pequenas porcentagens,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{TiO}_2$  (Zhao *et al.*, 2021).

Segundo dados estatísticos apresentados por Tony (2022), Estados Unidos é um dos países que mais geram lodos de alume com valores de até 2,5 milhões de toneladas por ano, seguidos de países como a China e a Malásia que geram até 2 milhões de toneladas por ano. A Figura 1 mostra a produção de lodo de alumínio em alguns países do mundo.

Figura 1 - Estimado de lodo de alumínio produzido em alguns países por ano.



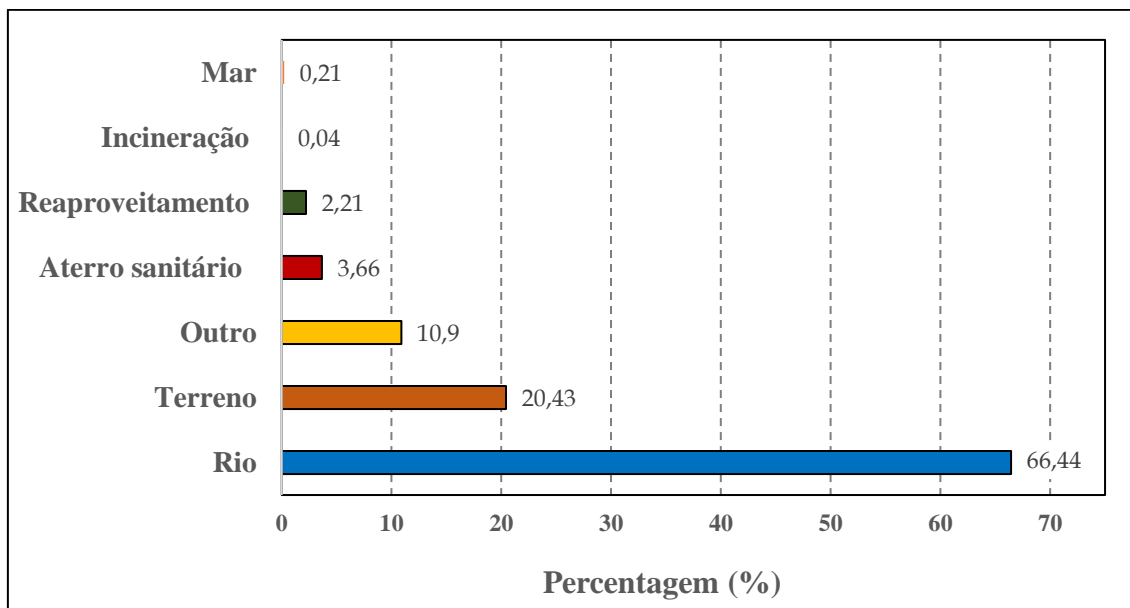
Fonte: Adaptado de Tony (2022).

O LETA geralmente é despejado diretamente nas águas superficiais e terrenos adjacentes ou disposto em aterros após o desaguamento, entretanto esse tipo de

disposição, embora menos dispendiosa, não é uma solução adequada devido ao potencial de contaminação. Essas descargas têm impactos nos corpos d'água receptores, como aumento das concentrações de metais (principalmente Fe e Al), sólidos em suspensão, turbidez e cor; mudanças na ciclagem de nutrientes, especialmente fósforo; o desenvolvimento de condições anaeróbias em águas de baixa velocidade; e mudanças na composição química e possibilidade de contaminação das águas subterrâneas (Ahmad *et al.*, 2016 e Wang *et al.*, 2018).

No Brasil, por exemplo, apenas 2,21% do LETA é reaproveitado, de forma que a grande maioria é despejada em rios ou águas superficiais próximas com um percentual de 66,44% como pode ser observado na Figura 2, seguido do despejo em terra com 20,43%, finalmente encontram-se outras alternativas com percentagens mais baixas como os aterros, o mar entre outros (IBGE, 2010).

Figura 2- Destinação do lodo de ETA municípios brasileiros em percentual.



Fonte: Adaptado IBGE (2010).

A gestão de LETA é uma preocupação séria, uma vez que a maioria das estações de tratamento de água em todo o mundo descarta os lodos em corpos de água e canais de drenagem, em Botswana são utilizadas estruturas escavadas chamadas lagoas de lodos (Lebogan *et al.*, 2023). Estas lagoas podem lixiviar componentes perigosos para rios, lagoas e lagos, e causar eutrofização e poluição de fontes de água (Ahmad *et al.*, 2016).

Por outro lado, a utilização de coagulantes à base de sais de alumínio suscita preocupação quanto presença de alumínio residual na água potável. O que gera um aumento de pressão na rede de distribuição de água e pode até prejudicar o sistema nervoso nos humanos (Snoeyink *et al.*, 2003; Campbell *et al.*, 2001). Por essas razões, a Organização Mundial da Saúde (OMS) exige que a concentração residual de Al na água potável seja inferior a 0,2 mg/L, e em alguns países os padrões são ainda mais rigorosos. No Japão, a diretriz de qualidade da água potável para Al é de 0,1 mg/L (Kimura *et al.*, 2013).

### 3.3 OPÇÕES DE DESAGUAMENTO DE LETA

A gestão do LETA tornou-se um desafio para grande parte das estações de tratamento, razão pela qual foram gerados equipamentos para otimizar este processo, algumas delas são descritas a seguir:

#### 3.3.1 Filtro prensa

O filtro prensa consiste em um filtro especialmente utilizado para separar grandes volumes de sólidos e líquidos por meio de filtração sob pressão (Figura 3). Permite desidratar sólidos em até 65% do peso do lodo compactado, essa tecnologia apresenta diversas vantagens como alto grau de separação, alto teor de sólidos na torta e operação simples e viável (Rizo-Gómez, 2015).

Figura 3 – Filtro prensa



Fonte: Rizo-Gómez (2015)

### 3.3.2 Filtro de banda

Nos filtros de banda inclui três etapas: condicionamento químico, geralmente com polieletrólito orgânico, uma drenagem e espessamento gravitacional até uma consistência não fluida e posteriormente a compressão de lodo, a baixa pressão, entre duas correias sem fim que atravessam um conjunto de rolos ajustáveis de vários diâmetros, seguindo um percurso em forma de “S”, o caminho “S” produz uma força de cisalhamento no lodo, o que auxilia no processo de desidratação, a força de compressão e cisalhamento que atua sobre o lodo aumenta ao longo desta etapa de desidratação (Figura 4), a resíduo final de lodo é removida das correias por meio de lâminas (Moreno-Franco, 2005).

Figura 4 – Filtro banda



Fonte: Moreno-Franco (2005)

### 3.3.3 Centrífugas

A centrifugação, em suma, é uma decantação que ocorre em um decantador cilíndrico que gira em alta velocidade, essa rotação cria um campo centrífugo equivalente à várias vezes a força da gravidade, precipitando assim o lodo desidratado nas paredes interiores do cilindro rotativo; as centrífugas industriais convencionais são constituídas por um corpo cilíndrico giratório ou rotor dentro do qual gira no mesmo sentido e também em alta velocidade, embora um pouco menor que o rotor, um parafuso helicoidal que arrasta para fora os sólidos acumulados nas paredes internas do rotor (Figura 5) (Escobar, 2004).

Figura 5 – Centrifuga



Fonte: Escobar (2004).

### 3.4 DISPOSIÇÃO DE LETA NA COLÔMBIA

Na Colômbia não há estatísticas confiáveis sobre a quantidade de LETA produzidos nas ETAs existentes e sua disposição final. No melhor dos casos, o lodo produzido é descartado em aterros (que geralmente não possuem infraestrutura adequada para seu manejo), porém, em sua maioria o lodo é descartado diretamente em corpos da água (Villegas *et al*, 2005). No entanto, de acordo com a Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2020), a maior parte das ETAs do país tem sistemas de tratamento convencionais donde são usadas soluções coagulantes, predominantemente sais de alumínio, que implica a produção de lodo como um subproduto.

### 3.5 LEGISLAÇÃO NA COLÔMBIA PARA A GESTÃO DE LODOS DE ETA

A legislação colombiana na Resolução 0330 de 2017 do Ministério da Habitação, Cidade e Território da Colômbia, na seção 5 “Gestão de subprodutos de purificação” descreve os processos que as estações de tratamento de água do país devem realizar para a correta gestão do lodo de ETA (Ministério da Habitação, Cidade e Território da Colômbia, 2017).

Art. 123. Caracterização do lodo: como insumo para o projeto de novas estruturas de tratamento de subprodutos, otimização ou expansão, devem ser quantificados parâmetros como pH, umidade, temperatura, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis e os resíduos dos insumos químicos utilizados nos processos de tratamento.

Art. 125. Tratamento do lodo gerado no tratamento: o lodo evacuado dos processos unitários deverá ser submetido a técnicas de homogeneização, complementadas por tratamentos de espessamento e desidratação.

a) Homogeneização

Para a homogeneização será necessário dimensionar uma estrutura para garantir a mistura completa, cujo volume deve ser pelo menos equivalente ao armazenamento do volume de purga do decantador, mais 75% do volume de lavagem de um filtro. O tempo de detenção não pode ultrapassar 6 horas, a geometria do tanque pode ser circular, retangular ou outra superfície que garanta o fluxo em pistão; desde que seja garantido um nível de potência de mistura superior a  $5 \text{ W/m}^3$ .

b) Espessamento de lodos

Deve ser concebido um sistema com uma taxa de carga superficial para lodos de hidróxido entre  $15\text{-}25 \text{ kg/m}^2/\text{d}$  e para lodos de abrandamento entre  $100\text{-}200 \text{ kg/m}^2/\text{d}$ , com um tempo de detenção entre 6 a 12 horas. A concentração média de sólidos na saída deve ser de 6%. Será permitido considerar tecnologias que utilizem sistemas de espessamento mecânico ou estágios combinados, sejam gravitacionais ou mecânicos, para os quais as diferentes taxas deverão ser justificadas dependendo do tipo de tecnologia e coagulante utilizado na planta.

c) Desidratação por leitos de secagem

A desidratação por leitos de secagem consiste em uma técnica manual na qual deve haver no mínimo quatro células. Seu dimensionamento depende da vazão de saída da descarga ou espessamento de lodo, com profundidades de aplicação de 0,3 a 0,9 m; para lodos não acondicionadas deverão ser aplicadas cargas entre 15 a 20 L lodos/ $\text{m}^2/\text{dia}$ , com ciclo de secagem de 3 a 4 dias.

d) Desidratação por lagoas de secagem

É uma técnica manual utilizada em sistemas com no mínimo duas lagoas, visto que os processos de homogeneização, espessamento e desidratação ocorrem de forma implícita. Projetado com base no parâmetro de carga de sólidos entre 40 kg/m<sup>2</sup>/d para regiões úmidas e 80 kg/m<sup>2</sup>/d para regiões secas; A profundidade da lagoa deve estar entre 0,50 e 1,20 m.

e) Desidratação mecânica

São filtros prensa, filtros prensa de correia, filtros a vácuo e centrífugas/decantadores, que devem garantir concentração de sólidos entre 25% a 35% na saída, de acordo com as seguintes especificações citadas pelo fabricante do equipamento: a concentração de sólidos na entrada, o tipo de composição do lodo, a temperatura e a vazão do lodo ou carga de lodo afluyente (conforme exigido pelo equipamento).

Na Colômbia, também existe o decreto 1287 (Ministério da Habitação, Cidade e Território da Colômbia, 2014), que pretende estabelecer os critérios para o uso de bio-sólidos produzidos a partir do lodo gerado nas ETEs municipais. De acordo com esse decreto, o lodo do ETE será caracterizado físico-química e microbiologicamente, para depois ser categorizado, de acordo com a categoria pode fazer usos alternativos, como: na agricultura, plantações florestais, a operação de aterros sanitários e descarte conjunto com resíduos sólidos. Essa política é interessante para o gerenciamento destes subprodutos, mas atualmente é implementada apenas para os bio-sólidos gerados em ETEs.

### 3.6 ECONOMIA CIRCULAR E LETA

A economia circular é um modelo de produção e consumo que envolve, a reutilização, a reparação, a renovação e reciclagem de materiais e produtos existentes tantas vezes quanto possível para criar valor adicionado. Desta forma, o ciclo de vida dos produtos é prolongado. Na prática, significa reduzir ao mínimo o desperdício. Quando um produto chega ao fim da sua vida útil, os seus materiais são mantidos na economia sempre que possível através da reciclagem. Eles podem ser usados de forma produtiva repetidas vezes, criando assim valor adicional (Parlamento Europeu, 2023).

O atual impulso para alcançar o desenvolvimento sustentável exige que as ETAs implementem conceitos de economia circular nos seus processos. Portanto, é necessário estudar as características do LETA e encontrar boas alternativas de aproveitamento para atender ao desejo de converter estações de tratamento de água em instalações de recuperação de recursos hídricos. Isto permitirá que essas instalações forneçam água limpa, energia renovável, nutrientes agrícolas como o fósforo e outros materiais valiosos de base biológica a partir da água bruta. Já que o LETA é um dos principais resíduos das estações de tratamento de água, o desenvolvimento de rotas de recuperação pode ajudar a garantir o funcionamento sustentável das estações de tratamento de água (Lebogán *et al.*, 2023).

### 3.7 RECUPERAÇÃO DE ALUMÍNIO EM LETA

Uma das alternativas que chamou a atenção dos pesquisadores é a recuperação do alumínio presente no lodo de ETA. Existem quatro formas de recuperação de alumínio: acidificação, alcalinização, troca iônica e membrana (Xu *et al.* 2009). A acidificação é o método mais utilizado devido a sua alta eficiência, baixo custo e operação simples, a implementação da recuperação de alumínio além do tratamento do lodo também pode reduzir significativamente o investimento em novos coagulantes e minimizar os impactos ambientais (Evuti e Lawal, 2011; Ahmad *et al.*, 2016).

A eficiência de recuperação do alumínio em LETA pelo método de acidificação, na qual geralmente se utiliza ácido sulfúrico ou ácido nítrico, pode variar em função das características da água bruta tratada e da quantidade de coagulante aplicado, além de outras variáveis, como a velocidade de agitação, pH, quantidade de ácido utilizado e tempo de mistura (Nair e Ahammed, 2014; Ruziqna *et al.*, 2020). Os tempos de mistura mecânica, a variação da velocidade e tempo de decantação são fatores estudados por diversos autores que demonstram sua relação nos processos ótimos de recuperação de coagulantes como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da recuperação de coagulante pelo método ácido e mistura mecânica.

Tipo de lodo	Tipo de ácido	Sólidos Totais (g*L)	Tempo de mistura (s)	Decantação (s)	Coagulante recuperado (%)	Autor
Lodo seco	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10	1800	900	74	Nair e Ahammed (2017)
Lodo seco	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10	1200	---	73,8	Fouad et al (2017)
Lodo seco	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	---	1800	---	83	Yang et al (2013)
Lodo seco	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20 - 40	---	86 - 400	70	Prakash e Sengupta (2003)
Lodo líquido	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	---	1800	3600	16,5	Ruziqna et al (2020)
Lodo líquido	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	---	3600	---	69,3	Ayoud e Abdelfattah (2016)

Fonte: Adaptado de Maraschin et al. (2020).

Os valores da Coluna 3 da Tabela 2 correspondem à quantidade de sólidos totais das amostras utilizadas, que segundo Xu et al (2009), é um fator que influencia na recuperação de coagulantes, porém, os trabalhos citados não mostram diferenças em relação à quantidade de sólidos e à porcentagem de coagulante recuperado. A recuperação de alumínio pode reduzir economicamente o consumo de produtos químicos, resultando em menor produção de lodo. Por exemplo, a recuperação de alumínio tem muitas vantagens, como redução dos custos operacionais de aproximadamente 28% e redução do volume de lodo em cerca de 40-50% (Ramadan e El Sayed, 2020).

Diversas pesquisas foram realizadas, não só relacionadas com a recuperação do coagulante, mas também com as suas opções de reutilização, bem seja no tratamento de água bruta ou como parte do tratamento de esgoto, como pode ser observado na Tabela 3.

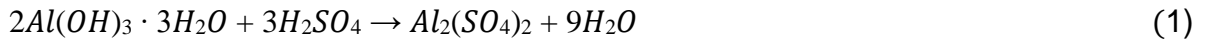
Tabela 3 - Resumo dos estudos sobre recuperação e reaproveitamento de coagulantes e sua eficiência na remoção de parâmetros de qualidade da água.

<b>Tipo de recuperação</b>	<b>Tipo de lodo</b>	<b>Tipo da água usada</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Remoção (%)</b>	<b>Autor</b>
<b>Acidificação</b>	Lodo de alumínio	Água bruta	Turbidez	93,38	Ruziqna <i>et al</i> (2020)
<b>Acidificação</b>	Lodo de alumínio	Água bruta	Turbidez- DQO-DBO- Ferro	96,2- 47-68-95	Ahmad <i>et al</i> (2021)
<b>Acidificação</b>	Lodo de alumínio	Efluente reator UASB	Turbidez- DQO-SST	80-71-77	Nair e Ahammed (2014)
<b>Acidificação</b>	Lodo de alumínio	Esgoto	DQO-DBO- SST-PO <sub>4</sub> -NO <sub>3</sub>	39,8-51,9- 39,8-33,8-19,7	Ramadan <i>et al</i> (2017)
<b>Acidificação</b>	Lodo de ferro	Esgoto	DQO-SST-PT	63-78-42	Chakraborty <i>et al</i> (2020)
<b>Acidificação</b>	Lodo de alumínio	Água bruta	Turbidez	74	Dahasahastra <i>et al</i> (2022)
<b>Acidificação</b>	Lodo de alumínio	Água bruta	Turbidez	99,47	Hamzah (2022)
<b>Acidificação</b>	Lodo de alumínio	Esgoto	Turbidez-SST- DQO	96-89-62	Mora-Leon (2022)

Fonte: Autor.

Os resultados obtidos pelos autores citados na Tabela 3 mostram perspectivas animadoras para o reaproveitamento de coagulantes recuperados pelo método ácido e sua eficiência na remoção efetiva de parâmetros de qualidade da água como DQO, DBO e turbidez. Também foram realizadas pesquisas para avaliar a lixiviação de outros metais como ferro, manganês e cromo em coagulantes recuperados por acidificação, encontrando-os em pequenas quantidades em comparação ao alumínio, que não afetaria sua aplicação no tratamento da água (Fouad *et al.*, 2016).

O processo de acidificação para recuperação de alumínio consiste em etapas sequenciais: espessamento do lodo, acidificação do lodo para valores de pH entre 1 e 3 unidades e decantação para obtenção do alumínio dissolvido para reaproveitamento (Mora-León, 2022). A reação ocorre conforme mostrado na Equação 1.



A Equação 1 mostra o processo de solubilização do alumínio, que ocorre ao dissolver a lama de alumínio  $Al(OH)_3$  em ácido ( $H_2SO_4$ ), gerando sulfato de alumínio, que após o processo de mistura podem ser recuperadas do sobrenadante (Li et al., 2005; Maraschin *et al.*, 2020).

### 3.8 OUTRAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO DE LODOS DE ETA

O lodo de ETA, principalmente proveniente de estações convencionais que utilizam coagulantes à base de alumínio como sulfato de alumínio ou Policloreto de Alumínio (PAC), gera um subproduto conhecido como lodo de alumínio que é derivado principalmente dos processos de coagulação, floculação e filtração. Esse resíduo vem aumentando ano após ano, devido ao aumento da demanda por água em todo o mundo, porém, esse resíduo tem sido subestimado, pois pesquisas recentes mostram o reuso que favorece o gerenciamento desse resíduo e o desenvolvimento sustentável (Tony, 2022).

#### a) Pré-tratamento para a remoção de corantes

Os corantes são produtos químicos constituídos por compostos orgânicos ionizantes e aromáticos que possuem afinidade com o substrato sobre o qual são aplicados, esses corantes sintéticos têm sido cada vez mais utilizados na indústria têxtil, devido às suas características como facilidade de aplicação, rentabilidade na síntese, alta estabilidade à luz, entre outras (Deniz e Karama, 2011), porém, essa indústria gera efluentes tóxicos à saúde humana e degradam ecossistemas, razão pela qual alternativas têm sido avaliadas para o uso de lodo alumínio como pré-tratamento de coagulação e floculação em pequenas e médias empresas do setor, obtendo resultados positivos para a remoção de corantes como Acid Red 94, Acid Yellow 1, Direct Green 26, além disso, uma redução nas despesas operacionais da ETE (Shiva *et al.*, 2019).

#### b) Pós-tratamento de efluentes de reator UASB

Nair e Ahammed (2014), avaliaram a viabilidade do reaproveitamento de coagulante recuperado pelo método de acidificação de uma estação de tratamento de água como pós-tratamento de efluentes de um reator UASB, que tratava esgoto municipal. O coagulante recuperado apresentou resultados positivos, removendo 71% DQO, 80% turbidez, 89% fosfatos, 77% sólidos suspensos e 99,5% de remoção de coliformes na concentração de 25 mg Al/L. Os resultados sugerem que o coagulante recuperado pode ser utilizado para o tratamento de efluentes de reatores UASB que tratam efluentes municipais, reduzindo o consumo de coagulante fresco e os custos de tratamento.

c) Adsorvente de baixo custo para imobilização de contaminantes

Várias pesquisas foram realizadas para avaliar a reutilização de LETA desidratado para absorção de contaminantes como fósforo e pesticidas, obtendo resultados favoráveis para reutilização (Hidalgo et al., 2017; Wang et al., 2018), além disso, Zhao e colaboradores (2015), relataram que os LETA nas quais são utilizados coagulantes derivados de alumínio têm uma capacidade considerável de adsorver arsênico, obtendo resultados que mostraram que as capacidades máximas de absorção variaram entre 0,61 e 0,96 mg As/g quando o pH da solução é neutro. Por outro lado, foi demonstrado que o lodo ETA tem a capacidade de remover fluoretos nas águas subterrâneas (Shakya et al., 2020).

Para ampliar ainda mais o escopo dessa alternativa, a capacidade de adsorver alguns metais pesados foi avaliada em uma escala variada, incluindo Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, Mo, V, Ga, As, Se e B. Esses estudos comprovaram a eficácia do lodo alumínio como um adsorvente de baixo custo, em uma ampla gama de contaminantes úteis para resolver problemas ambientais (Zhao et al., 2021; Shen et al., 2019).

d) Materiais de construção

A utilização de LETA, principalmente o derivado do uso de coagulantes à base de alumínio, como material de construção em larga escala é uma alternativa que tem chamado a atenção de pesquisadores; o lodo pode ser utilizado como matéria-prima para a estabilização de solos, fabricação de tijolos e produção de cimento, além disso,

o uso alternativo do lodo na construção civil pode auxiliar no gerenciamento dos problemas associados a esse resíduo (Tony, 2022).

Henry e colaboradores (2020) apresentam resultados sobre a aplicação de LETA para estabilização do solo como uma nova alternativa, tal aplicação poderia alcançar uma estabilização ambientalmente lucrativa e sustentável. Aamir e colaboradores (2019), obtiveram resultados e melhora na relação resistência-capacidade do solo de 6,53% para 16,86% com adição ótima de 8% de lodo de alumínio, porém ainda são necessárias mais pesquisas sobre o assunto.

Outra alternativa avaliada por pesquisadores está relacionada ao reaproveitamento para fabricação de tijolos, por exemplo, Li et al. (2018), utilizaram LETA para fabricação de tijolos cerâmicos e Zhao *et al.* (2016), também mostraram que o lodo de alumínio é um material com características adequadas para a fabricação de tijolos.

#### e) Co-condicionador na desidratação de lodo

Outro dos usos que vem sendo avaliado para o LETA é como co-condicionador para o desaguamento de lodo de ETE. Tony (2020) utilizou o LETA como condicionador físico e químico para lodo de ETE, seus resultados mostraram que o uso de lodo de alumínio pode reduzir a adição de poliacrilamida e reduzir a umidade no lodo ETE, por outro lado, Ren *et al.* (2020), demonstraram que a mistura de LETA e lodo de ETE na proporção de 1:1 teve resultados positivos para a desidratação do lodo de ETE; esses resultados mostram esse reaproveitamento como uma alternativa promissora e sustentável.

#### f) Uso na agricultura

A utilização de LETA na agricultura pode ser considerada benéfica para a produção agrícola para fins de fertilização, bem como um método eficaz para a gestão de lodos de purificação (Dassanayake *et al.*, 2015). Owen (2002) realizou uma pesquisa sobre a utilização de LETA para o cultivo de gramíneas, com resultados positivos em que constatou que a implantação deste tipo de lodo gera uma cultura ambientalmente sustentável e economicamente atrativa, a gramínea não apresentou

problemas na sua fenologia e além disso, o uso de lodo reduz a necessidade de terras férteis.

g) Uso de LETA no solo

A melhoria estrutural do solo, visando reduzir a erosão, é um uso com boas perspectivas de aplicação em escala real do lodo de ETA, pois ele tem a capacidade de agregar as partículas de solo, esta aplicação ocorre em países como Austrália, Estados Unidos e Inglaterra. Porém, tal como nas outras aplicações, a composição dos lodos deve ser avaliada e identificar sua viabilidade (Urban *et al.*, 2019).

Os autores Titshall e Hughes (2005) avaliaram amostras de lodo de ETA na África do Sul para este uso e concluíram que era viável, mas algumas considerações devem ser feitas tais como, manter o pH em níveis que não provoquem liberação excessiva de metais pesados do solo, utilizar coagulantes com poucas impurezas e verificar as características do solo e as finalidades do terreno onde será disposto o lodo.

h) Uso de LETA em obras de terra

Pesquisadores ligados à área de geotecnia têm realizado estudos com LETA e LETE desde a década de 1990, tais estudos tiveram por objetivo obter parâmetros de projeto para aterros exclusivos, verificar o comportamento geotécnico de lodos em aterros sanitários e avaliar seu uso em obras de terra (Urban *et al.* 2019). Pesquisadores obtiveram resultados positivos para o uso em cobertura e revestimento de aterros sanitários (Bashar *et al.* 2016; Montalvan 2016; Gonçalves *et al.*2017).

i) Zonas Húmidas Construídas (ZHC)

Em todo o mundo, uma atenção considerável tem sido recebida sobre a aplicação de lodo de alumínio desidratado como meio reativo em zonas húmidas construídas ou leitos filtrantes (Tony, 2022). O LETA é usado na forma sólida como substrato principal em ZHC para o fim da vida útil dos resíduos (Zhao *et al.*, 2012).

O substrato é um componente principal na preparação do ZHC, por isso opta-se por um substrato que tenha múltiplas funções, como beneficiar a formação de

biofilmes, facilitar o crescimento das plantas e absorver contaminantes. O lodo de alumínio é um subproduto das estações de tratamento de água potável; portanto, na maioria dos casos não é uma substância tóxica ou prejudicial (Zhao *et al.*, 2013; Turner *et al.*, 2019).

j) Uso de lodos de alumínio para purificação de H<sub>2</sub>S

O ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) é um dos gases produzidos em efluentes industriais, estações de tratamento de esgoto ou indústrias petroquímicas (Bamdad *et al.*, 2018). Esse gás tem um limiar de odor médio de 7 e 9 ppb (Wu *et al.* 2018). Ren e colaboradores (2020), em uma investigação em escala laboratorial de colunas de leito fixo, examinaram a capacidade de lodo de alumínio em adsorver H<sub>2</sub>S, obtendo uma capacidade de absorção de 374,2 mg de H<sub>2</sub>S/g. Isto demonstrou que o lodo de alumínio é um adsorvente econômico, amplamente disponível e eficiente para remoção deste gás. Este novo uso tem grande potencial para aplicação em ETE's, uma vez que odores desagradáveis provenientes de processos de tratamento de efluentes têm sido uma reclamação constante das populações próximas a tais estações e uma grande preocupação para as autoridades ambientais (Zhao *et al.* 2021).

k) Granulação de LETA

A granulação é uma técnica de aumento de partículas por aglomeração (Zhao *et al.*, 2021), é um dos processos mais utilizados para a formação de pellets/granulados que são formados a partir de partículas finas ou grossas de lodo de alumínio que se transformam em grandes aglomerações (Shanmugam, 2015). Esses grânulos são fáceis de transportar, utilizar e separar do processo de absorção, sendo adequados para uso em ETE's, como leitos, colunas ou filtros, graças à sua maior resistência à compressão e condutividade hidráulica (Chen *et al.* 2019). Portanto, a granulação poderia expandir as rotas de reutilização de lodo de alumínio e parece ser uma estratégia promissora para promover a sua utilização generalizada na engenharia (Zhao *et al.* 2021).

l) Disposição do LETA em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)

A utilização de LETA em Estações de Tratamento de Esgoto é uma prática comumente realizada, com diversas vantagens como controle de H<sub>2</sub>S, aumento da eficiência dos decantadores primários e maior eficiência na remoção de fósforo, principalmente quando os lodos são a base de alumínio e ferro (Tsutiya e Hirata, 2001).

Algumas das desvantagens desta aplicação são possibilidade de sobrecarga dos coletores e dos decantadores primários, monitoramento contínuo para não limitar a contração de nutrientes essenciais ao desenvolvimento dos microrganismos nas ETE's, maior aporte de sólidos inorgânicos às ETE's, que acarretam em intensificação das atividades e os custos de operação e manutenção (Tsutiya e Hirata, 2001; Di Bernardo e Paz, 2008).

#### m) Remoção de disruptores endócrinos

Uma alternativa promissora é o uso de LETA para remoção de disruptores endócrinos, que são compostos que possuem a capacidade de alterar o desempenho do sistema endócrino em humanos e animais, afetando o indivíduo e seus descendentes (Adeel *et al.*, 2017). Martins *et al* (2022), avaliaram a remoção de 17 $\beta$  Estradiol e 17 $\alpha$  Etinilestradiol utilizando adsorventes produzidos a partir de LETA ativado através de tratamentos térmicos e químicos, registrando resultados positivos para a remoção deste tipo de poluentes em soluções aquosas.

Na Tabela 4 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens dos usos alternativos para o lodo de alumínio que foram descritos anteriormente.

Tabela 4 - Resumo de usos alternativos de lodos de alumínio.

Uso alternativo de lodos de alumínio	Vantagens	Desvantagens
<b>Materiais de construção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não perigoso</li> <li>- Substituto de areia e material cimentação</li> <li>- Mais adequado para concreto não estrutural</li> <li>- O teor de hidróxido metálico forma tijolos de baixa porosidade com estrutura aceitável</li> <li>- O lodo de alumínio forma hidratos de cálcio e alumínio que ajudam a prevenir a corrosão por cloreto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da resistência à compressão com maior porcentagem de lodo</li> <li>- Alta absorção de água</li> <li>- Requer alta temperatura de sinterização</li> <li>- Expansão de alumínio</li> <li>- Retardo de assentamento</li> <li>- Alto teor de água</li> </ul>
<b>Uso na agricultura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhor agregação do solo</li> <li>- Maior capacidade de retenção de umidade e permeabilidade à água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco de acumulação de metal</li> <li>- Pouco valor de fertilizante</li> </ul>

Tabela 4 - Resumo de usos alternativos de lodos de alumínio (Continuação).

Uso alternativo de lodos de alumínio	Vantagens	Desvantagens
<b>Adsorvente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adequado para remoção de P, metais pesados, corantes têxteis, contaminantes orgânicos e adsorção de poluentes</li> <li>- Econômico</li> <li>- Método possível para remoções de poluentes emergentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A extensão da adsorção está abaixo</li> <li>- Possível liberação de substâncias</li> <li>- Risco de entupimento</li> <li>- Não funciona bem para corantes hidrofílicos</li> </ul>
<b>Co-condicionador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A sedimentação do lodo é melhorada</li> <li>- A desidratabilidade do lodo é melhorada</li> <li>- Remoção de P de esgoto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O frete é caro</li> <li>- Eliminação de lodo misto</li> </ul>
<b>Coagulante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente eficiência de remoção de turbidez DQO e SST</li> <li>- Econômico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso restrito devido à possibilidade de contaminação</li> <li>- Alto custo de envio</li> <li>- Processo de recuperação</li> <li>- Pureza limitada</li> </ul>

Na Tabela 4 apresenta a grande possibilidade que um resíduo como o lodo de alumínio tem de contribuir para outros processos e ter um reaproveitamento alternativo que contribua para um gerenciamento adequado, porém, grande parte dos estudos realizados foram conduzidos em escala de laboratório, portanto, são necessários processos experimentais em escala real que permitam avaliar aspectos econômicos e administrativos da implementação adequada dessas alternativas.

### 3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### a) Análise de Variância (ANOVA)

ANOVA é um conjunto de técnicas estatísticas altamente úteis e flexíveis, quando há mais de dois grupos que precisam ser comparados, quando há medidas repetidas em mais de duas ocasiões, quando os sujeitos podem variar em uma ou mais

características que afetam o resultado e seu efeito precisa ser ajustado ou quando se deseja analisar simultaneamente o efeito de dois ou mais diferentes tratamentos (Dagnino, 2014). A forma mais simples é a chamada ANOVA unidirecional ou fatorial, quando existe uma única variável independente para classificar os sujeitos e dois ou mais níveis (que definem os grupos) dela (Dagnino, 2014).

b) Análise de Kruskal-Wallis

O teste de hipótese de Kruskal-Wallis é uma análise não paramétrica baseada em intervalos para testar a hipótese de que  $k$  amostras foram obtidas da mesma população, também pode ser utilizada para corroborar se existem diferenças estatisticamente relevantes entre dois ou mais grupos de uma variável independente em uma variável dependente ordinal ou contínua (Theodorsson-Norheim, 1986).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Pasto está localizada no estado de Nariño, no sudoeste da Colômbia, tem uma extensão territorial aproximada de 1.181 km<sup>2</sup> e uma população de mais de 392.000 habitantes. Pasto está localizada no meio da cordilheira dos Andes, no chamado vale de Atriz, a uma altura de 2.527 m em relação ao nível do mar.

#### a) EMPRESA DE SERVIÇOS PÚBLICOS EMPOPASTO S.A

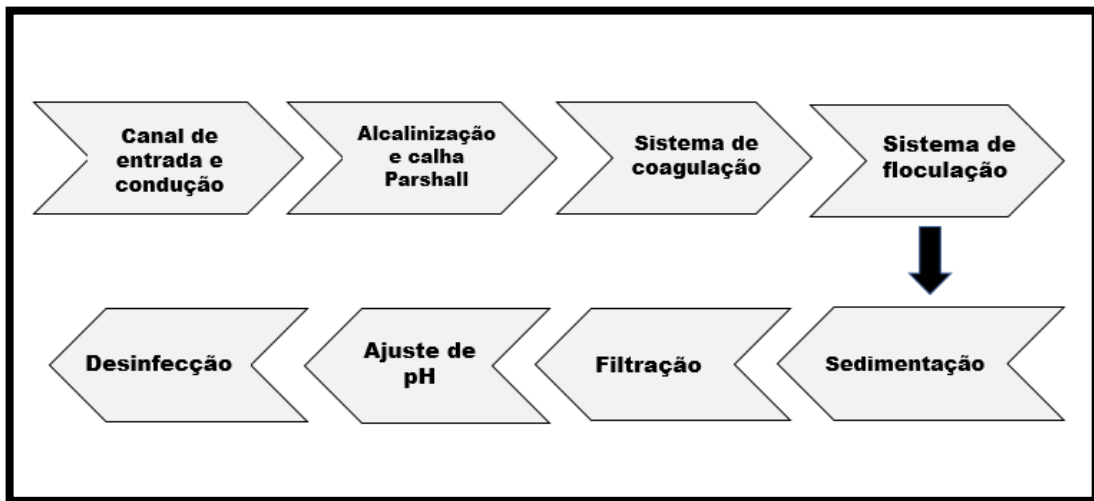
A companhia de tratamento de águas de Pasto, EMPOPASTO S.A E.S.P., é uma empresa que presta serviços públicos residenciais de aquedutos e esgotos para a cidade de Pasto, no estado de Nariño (Colômbia).

EMPOPASTO S.A E.S.P. tem a responsabilidade de proteger as áreas de alta montanha em suas bacias hidrográficas de onde o recurso hídrico é obtido para ser levado para suas quatro estações de tratamento atuais: Centenário, Mijitayo, San Felipe e Guadalupe. A estação de tratamento de água potável Centenário é a principal da cidade e fornece 83% do recurso.

#### b) ETA Centenário

A ETA Centenário é a maior das estruturas de purificação de água que a empresa de saneamento EMPOPASTO S.A ESP possui e fornece 83% da água potável para a cidade de San Juan de Pasto, com vazão operacional entre 300 - 650 L/s. Esta estação tem como fonte de abastecimento a bacia hidrográfica do rio Pasto que nasce na floresta de Bordoncillo e pertence à bacia do rio Juanambú. A Figura 6 descreve os principais componentes do processo:

Figura 6 - Descrição do sistema de tratamento.



Fonte: Autor.

c) Entrada do sistema: Calha Parshall e alcalinização

Quando a água entra no sistema, os parâmetros de cor, turbidez e alcalinidade são monitorados para determinar a quantidade e concentração dos compostos químicos que serão utilizados posteriormente no tratamento. Quando a alcalinidade for inferior a 20 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , adiciona-se uma solução de bicarbonato de sódio a 5% p/v para aumentar a alcalinidade até valores superiores a 20 mg/L. Na calha Parshall, a vazão é medida por meio de sensor ultrassônico, verificando se não ultrapassa a vazão autorizada pelo órgão ambiental de 650 L/s.

d) Sistema de coagulação, floculação e sedimentação

Após a calha Parshall, adiciona-se o coagulante Policloreto de alumínio (PAC), com teor de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) de 18 a 20%, com dosagens que variam de 35 ppm a 100 ppm, dependendo dos valores de turbidez da água bruta.

Posteriormente, é realizado um processo de floculação mecânica em 6 câmaras floculadoras com 2 pás de eixo vertical em cada uma, ditas pás possuem motores controlados por variadores de velocidade que permitem aumentar ou diminuir o número de rotações por minuto, o que se traduz numa variação do gradiente de velocidade por câmara conforme exigido pelo processo.

A sedimentação é realizada em dois decantadores: um decantador convencional que processa 40% da água a ser tratada e um decantador de alta taxa que processa os 60% restantes. O lodo sedimentado nestas duas estruturas será objeto de estudo desta pesquisa. A Figura 7 apresenta uma vista panorâmica da ETA Centenário localizada na parte alta da cidade de Pasto.

Figura 7 - ETA Centenário.



Fonte: Autor.

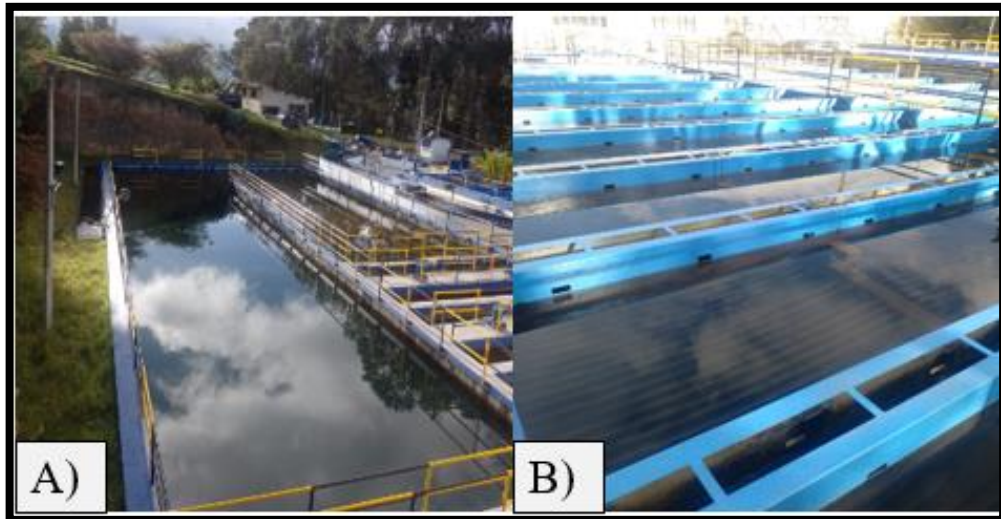
#### e) Filtração, ajuste de pH e desinfecção

Para o processo de filtração, a ETA dispõe de filtros autolimpantes compostos por um leito de brita, areia e antracito, que são operados em fluxo descendente. A camada de areia possui uma espessura de 30 cm e a camada de antracito tem 50 cm de espessura com área total de filtração de 87,33 m<sup>2</sup>. Também possui 8 unidades filtrantes convencionais de fluxo descendente com área total de 176,4 m<sup>2</sup>, compostas por um leito de brita, areia e antracite com espessuras semelhantes às dos filtros autolimpantes.

Após o processo de filtração, é feito um ajuste de pH, pois muitas vezes o tratamento realizado pode aumentar ou diminuir seu valor em relação à neutralidade. Para isso, adiciona-se cal hidratada tipo N, até valores de pH entre 6,5 e 9,0 conforme indicados pela regulação vigente, geralmente a ETA apenas ajusta os valores de pH entre 7,0 e 7,5. Finalmente, o processo de desinfecção é realizado por meio de uma mistura prévia de cloro gasoso e água tratada para formar o íon hipocloroso que será

o agente desinfetante. Na Figura 8 são apresentados os dois tipos de decantadores da ETA Centenário onde são produzidos o lodo de alumínio, que será objeto de estudo nesta pesquisa.

Figura 8 - A) Decantador convencional B) Decantador de alta taxa.



Fonte: Autor.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ETA

### 4.2.1 Amostragem de lodo

A amostragem foi realizada na terça-feira (18/03/2024), antes da lavagem do decantador de alta taxa, obtendo-se a maior quantidade de lodo possível, conforme é ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Amostragem de lodo da ETA.



Fonte: Autor.

Para a amostragem foi considerando o intervalo de lavagem dos decantadores para obter a maior quantidade de lodos possível. As mostras foram coletadas na câmara de inspeção onde convergem as duas drenagens dos decantadores (Figura 10). Antes da coleta foram realizadas aberturas parciais das válvulas de drenagem para observar o comportamento do efluente e encontrar o ponto ótimo de concentração do lodo. As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos de 1 L e refrigeradas em temperatura inferior a 4 °C, para posteriormente realizar os diferentes tratamentos. Além disso, durante esse processo foram realizadas medições in situ de pH, condutividade e temperatura no lodo.

Depois de abrir parcialmente as válvulas em diferentes situações, foi possível observar a formação de um vórtice gerado pelo efeito chamado aceleração de Coriolis, que separará em alguns momentos a fase mais sólida da água clarificada (Persson, 2005). No caso deste estudo o vórtice fez com que durante os primeiros 3 minutos fosse observada alta carga de lodo na água de drenagem, após esse tempo foi observada a sucção da água clarificada da parte superior, impedindo a saída de lodo localizado no fundo.

Figura 10 - Câmara de inspeção onde convergem as duas drenagens dos decantadores.



Fonte: Autor

#### 4.2.2 Caracterização físico-química

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos do lodo da ETA, as amostras foram processadas de acordo com os procedimentos estabelecidos no laboratório de água da EMPOPASTO S.A ESP, tomando como referência o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

Os parâmetros físico-químicos avaliados, listados na Tabela 5, foram determinados levando em consideração as exigências da autoridade ambiental na Resolução 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), que descreve o gerenciamento dos subprodutos do processo de purificação, especificamente a caracterização de lodo.

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos avaliados no LETA.

<b>Parâmetro</b>	<b>Método (APHA, 2017)</b>
<b>Sólidos Suspensos</b>	SM 2540 D
<b>Sólidos Voláteis em Suspensão</b>	SM 2540 E
<b>Alumínio residual</b>	Fotométrico
<b>pH</b>	SM 4500- H+B
<b>Sólidos dissolvidos</b>	SM 2510 B
<b>Sólidos sedimentáveis</b>	SM 2540 F
<b>DQO</b>	SM 5220 D
<b>DBO</b>	DBO (5 dias) SM 5210 B- SM 4500-OH

Fonte: Autor.

### 4.3 MÉTODO DE RECUPERAÇÃO

#### 4.3.1 Método de recuperação por tratamento térmico

As amostras de 20 L de lodo foram colocadas em leito de secagem em temperatura ambiente por 24 horas como processo de desidratação primária, em seguida foi realizado um processo de desidratação secundária na qual a amostra foi colocada em estufa a 200°C por mais 24 horas. Concluídos os processos de desidratação, as amostras foram maceradas até a obtenção de um pó homogêneo, o qual foi peneirado com malha 1x1 mm (Figura 11), 67,3 g do pó resultante foram retirados e dissolvidos em 600 mL de água destilada e misturados por 1 hora, o sobrenadante foi usado como coagulante recuperado para experimentos subsequentes, esta metodologia foi adaptada das recomendações propostas por Shiva *et al.*, (2019).

Figura 11 - Pó coagulante recuperado por tratamento térmico.



Fonte: Autor.

#### 4.3.2 Método ácido de recuperação

Para a recuperação do coagulante através do método ácido, foram utilizadas metodologias ajustadas de acordo com o que foi proposto por Ayoub e Abdelfattah (2016) e Ramadan e El Sayed (2020). Inicialmente as amostras de 1 L foram acidificadas com ácido sulfúrico a 90% ( $H_2SO_4$ ), até a obtenção de valores de pH de 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 que foram verificados com um Multiparameter HQ40d HACH, posteriormente as amostras acidificadas foram levadas a um processo de mistura utilizando um equipamento de *Jar Test* PHIPPS & BIRD 7790-900B, em velocidades de (125 - 150 - 175 - 200) rpm por 60 min. Por fim, as amostras foram deixadas em repouso por 60 min, para então extrair o sobrenadante que foi utilizado como coagulante recuperado nos experimentos seguintes.

#### 4.3.3 Quantificação de alumínio recuperado

Para a quantificação do alumínio recuperado foi implementado a análise instrumental de Espectroscopia de Absorção Atômica (EAA), que é uma técnica extremamente sensível e específica porque as linhas de absorção atômica são consideravelmente estreitas (0,002 a 0,005 nm) e as energias de transição eletrônica

são únicas para cada elemento (Skoog *et al.*, 2001). Estas análises foram realizadas nos laboratórios especializados da Universidade de Nariño.

#### 4.4 REUTILIZAÇÃO DO COAGULANTE RECUPERADO

Os produtos dos supracitados tratamentos foram submetidos a *Jar Test* para avaliação de sua capacidade de coagulação em matrizes da água bruta e esgoto. Para o coagulante recuperado pelo método ácido foi utilizada uma dose de 15 mL, para o coagulante recuperado pelo método de tratamento térmico foram utilizadas 3 doses: 10 mL, 15 mL e 20 mL.

Para o *Jar Test* (Figura 12), foi utilizado um ciclo operacional de mistura rápida a 300 rpm por 10 segundos, seguido de uma mistura media a 150 rpm por 1 minuto, finalizando com uma mistura lenta de 30 rpm por 10 minutos e um tempo de sedimentação de 30 minutos. Tais velocidades e tempos estão baseados nos critérios regularmente utilizados na ETA Centenário para tratamento de água bruta estabelecidos pela empresa EMPOPASTO S.A.S ESP.

Figura 12 - *Jar Test*.



Fonte. Autor.

Os *Jar Test* apresentado na Figura 12, também foi usado para avaliar a capacidade de coagulante recuperado na remoção de cor e turbidez.

#### 4.4.1 Amostragem de esgoto e água bruta

As amostras da água bruta e residual foram coletadas em amostragem simples, a água bruta foi retirada no canal de condução da água antes de qualquer tipo de tratamento. Amostragem do esgoto foi feita no ponto de lançamento Juan XXIII (Figura 13), onde ocorre a maior descarga do esgoto da cidade no rio Pasto. As amostragens foram feitas atendendo ao protocolo de monitoramento e acompanhamento de água IDEAM, INVEMAR (2021). Para as amostras simples de cada uma das matrizes foram retirados 20 L de água, que foi caracterizada e posteriormente utilizada nos experimentos de turbidez e remoção de cor.

Figura 13 - Ponto de lançamento Juan XXIII



Fonte: Autor.

#### 4.4.2 Caracterização do esgoto e da água bruta

Para as duas matrizes avaliadas foram feitas medições in situ de pH, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido, seguindo as instruções e procedimentos do laboratório de água de EMPOPASTO, adaptados de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), o equipamento utilizado para isso foi um HQ40d HACH, as sondas utilizadas foram previamente verificadas de acordo com cada um dos parâmetros avaliados. Adicionalmente, foram feitas análises laboratoriais para avaliar cor e turbidez nas duas matrizes (Tabela 6).

Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos avaliados em esgoto e água bruta.

<b>Parâmetro</b>	<b>Método (APHA, 2017).</b>
<b>Oxigênio dissolvido</b>	SM 4500-O H
<b>Condutividade</b>	SM 2510 B
<b>Temperatura</b>	SM 2550 B
<b>pH</b>	SM 4500- H+B
<b>Cor</b>	SM 2120 C
<b>Turbidez</b>	SM 2130 B

Fonte: Autor.

#### 4.4.3 Avaliação de remoção de turbidez e cor

Para avaliação da remoção e eficiência do coagulante recuperado, foram levados em consideração os parâmetros de turbidez e cor aparente. Para as duas matrizes esgoto e água bruta, utilizando as Equações 2 e 3 (von Sperling, 2007):

$$Eficiência\ de\ remoção\ de\ turbidez\ (\%) = \frac{Turbidez\ Inicial - Turbidez\ Final}{Turbidez\ Inicial} \times 100 \quad (2)$$

$$Eficiência\ de\ remoção\ da\ cor\ (\%) = \frac{Cor\ Inicial - Cor\ Final}{Cor\ Inicial} \times 100 \quad (3)$$

#### 4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para avaliar a recuperação do coagulante pelo método ácido foram avaliados dois fatores. Fator 1: pH com quatro níveis (1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0); Fator 2: Velocidade de mistura com quatro níveis (125 rpm – 150 rpm – 175 rpm – 200 rpm) que determinam 16 tratamentos que são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - combinação de tratamentos estabelecida para o delineamento experimental

<b>Tratamentos</b>				
	<b>Níveis velocidade de mistura (rpm)</b>			
<b>Níveis de pH</b>	<b>1 = 125</b>	<b>2 = 150</b>	<b>3 = 175</b>	<b>4 = 200</b>
<b>A = 1,5</b>	A1	A2	A3	A4
<b>B = 2,0</b>	B1	B2	B3	B4
<b>C = 2,5</b>	C1	C2	C3	C4
<b>D = 3,0</b>	D1	D2	D3	D4

Para avaliar as diferenças estatisticamente significativas entre os dois fatores avaliados para a recuperação do coagulante pelo método ácido e a capacidade de remoção de cor e turbidez dos diferentes coagulantes obtidos, foram realizados testes de Shapiro-Wilk para o suposto de normalidade e testes de Fligner-Killeen para o suposto de homoscedasticidade. Conforme o delineamento experimental em bloco proposta nesta pesquisa garante independência e evita pseudoreplicações, portanto a suposição de independência foi avaliada (Hurlbert, 1984; Sutherland, 2006). De acordo com os resultados registrados, foi realizada a análise paramétrica de ANOVA ou a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis, ao nível de significância 0,05 utilizando o software RStudio Desktop.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 MEDIÇÃO DE PARÂMETROS IN SITU

A Figura 14 mostra o processo de medição de parâmetros in situ no lodo da ETA Centenário.

Figura 14 - Medição de parâmetros in situ.



Fonte: Autor.

Os valores registrados no processo de medição in situ podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados de medição de parâmetros in situ no lodo da ETA Centenário.

<b>pH</b>	<b>Condutividade (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>
7,47	88,5	16,2

Os resultados das medições in situ no lodo de ETA são muito semelhantes aos valores in situ registrados na água bruta apresentados na Tabela 11 de onde é

derivado este subproduto. Os valores de condutividade são baixos comparados aos resultados de Mazari e colaboradores (2018), que em suas pesquisas registraram condutividades entre 600 – 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em lodo ETA.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DA ETA

### 5.2.1 Caracterização físico-química

Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados no lodo da ETA Centenário.

Tabela 9 - Valores de parâmetros físico-químicos avaliados no lodo da ETA Centenário (Ver anexo 8.1).

Parâmetro	Valores	Unidades
<b>Sólidos Suspensos</b>	686,7	mg SST/L
<b>Sólidos Voláteis em Suspensão</b>	83,3	mg SSV/L
<b>Alumínio residual</b>	5,87	mg Al/L
<b>pH</b>	7,18	pH
<b>Sólidos dissolvidos</b>	44,0	mg SDT/L
<b>Sólidos sedimentáveis</b>	370,0	mL SSed/L
<b>DQO</b>	456,2	mg O <sub>2</sub> /L
<b>DBO<sub>5</sub></b>	18,0	mg O <sub>2</sub> /L

Os resultados registados para o alumínio residual são muito baixos em comparação com o que foi encontrado por Ayoub e Abdelfattah (2016), que registaram valores de alumínio em lodo da ETA em estado líquido entre 87,5 - 4096 mg Al/L em 3 estações de tratamento diferentes, que usaram sais de alumínio como solução coagulante. Por outro lado, conforme citado por Tony (2022), o LETA no estado sólido apresentou valores entre 7 - 142 mg Al/kg na ETA que utilizou sulfato de alumínio. Os valores de pH registrados na caracterização dos lodos são muito semelhantes aos valores apresentados por outros autores os quais citam que este tipo de lodo tem um pH neutro entre 6,5 – 7,5, por exemplo Mazari *et al* (2018) que em sua pesquisa trabalharam com lodo de ETA onde foi utilizado sulfato de alumínio como solução coagulante, relataram valores médios de 7,47, por outro lado Tabares (2020) e

Wagner (2015), que em suas pesquisas trabalharam com lodo onde o PAC foi utilizado como solução coagulante relataram valores na faixa de 6,77 a 6,88.

Os sólidos voláteis apresentaram valores muito baixos comparados ao encontrado em outras investigações nas quais este parâmetro ultrapassou os 5000 mg SSV/L (Cordeiro, 1993; Mora-León, 2022; Ribeiro, 2007). No caso dos sólidos suspensos, os resultados registrados são também muito baixos em comparação com o que foi reportado em outras investigações onde os valores ultrapassam os 1450 mg SST/L (Rebosura *et al.* 2020; Ahmad *et al.* 2016).

No caso do parâmetro DQO os autores Dassanayake *et al.* (2015) e Tony *et al.* (2008) obtiveram resultados abaixo dos encontrados na faixa de 216 – 226 mg O<sub>2</sub>/L, No entanto, Villegas *et al.* (2005) e Barakwan *et al.* (2019) reportam valores muito elevados de 3.014 mg O<sub>2</sub>/L e 9.000 mg O<sub>2</sub>/L respectivamente. No caso da DBO, os resultados são muito inferiores aos relatados por autores como Castaldi *et al.* (2014) e Rebosura *et al.* (2020), que reportaram resultados entre 45 – 104 mg O<sub>2</sub>/L.

A heterogeneidade dos dados registrados na literatura pode estar relacionada com o estado físico dos lodos utilizados, os processos de amostragem e a qualidade da água bruta que entra em cada uma das estações de tratamento onde foram realizadas as pesquisas.

## 5.3 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO E DA ÁGUA BRUTA

### 5.3.1 Caracterização do esgoto

A Figura 15 apresenta a amostragem simples de esgoto realizado no ponto de lançamento Juan XXIII.

Figura 15 - Amostragem de esgoto.



Fonte: Autor.

A Tabela 10 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados nas amostras do esgoto do ponto de lançamento Juan XXIII. Dito esgoto é lançado no rio Pasto sem tratamento prévio.

Tabela 10 – Valores de parâmetros físico-químicos avaliados no esgoto  
(Ver anexo 8.2).

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
<b>Oxigênio dissolvido</b>	2,26	mg/L
<b>Condutividade</b>	843	μS/cm
<b>Temperatura</b>	18,8	°C
<b>pH</b>	8,11	pH
<b>Cor</b>	1709	UPCo
<b>Turbidez</b>	257	NTU

Fonte: Autor.

Os resultados registados na Tabela 10 mostram que as águas presentes no ponto de lançamento Juan XXII apresentam características típicas do esgoto doméstico de acordo com o reportado por Espigares-García e Pérez-López (1985), com temperaturas superiores às da água de abastecimento, Valores de pH entre 6-9

e turbidez entre 146,8-357,65 NTU, porém a condutividade está acima da faixa reportada por tais autores entre 265-788  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 5.3.2 Caracterização da água bruta

A Tabela 11 apresenta os resultados registados na caracterização físico-química da água bruta coletada.

Tabela 11 - Valores de parâmetros físico-químicos avaliados na água bruta (Ver Anexo 8.2).

Parâmetro	Valores	Unidades
Oxigênio dissolvido	7,08	mg/L
Condutividade	74	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Temperatura	13,1	$^{\circ}\text{C}$
pH	7,8	pH
Cor	119	UPCo
Turbidez	8,7	NTU

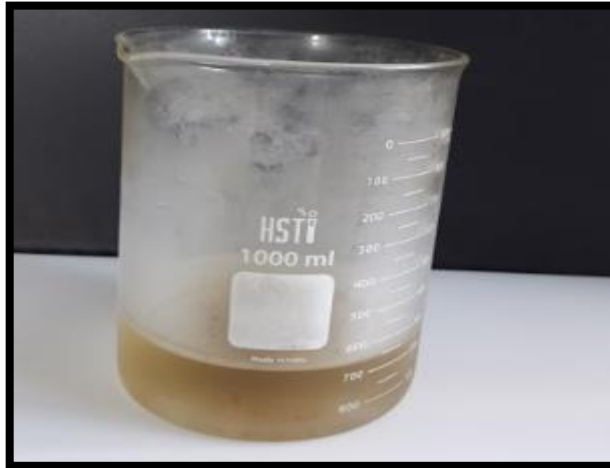
Fonte: Autor.

Os resultados da Tabela 11 mostram que a água bruta que entra na ETA Centenário tem uma excelente qualidade segundo o comentado por Romero-Rojas (1999), com valores de pH entre 6,0-8,5, valores de oxigênio dissolvido entre 4,0-7,5 mg /L e turbidez entre 0-10 NTU, porém o valor da cor encontrou-se fora das faixas propostas pelo autor de 0-20 UPCo. Esses valores altos de cor podem estar relacionados com substâncias químicas derivadas de processos de degradação da matéria orgânica (Arboleda, 1992) que estão ocorrendo na parte alta da bacia.

### 5.4 RECUPERAÇÃO PELO MÉTODO TÉRMICO

Após a retirada das amostras de lodo desidratado e peneiramento, foram obtidos 63,7 g de lodo em pó. A este pó foi adicionada água destilada, o mesmo foi misturado, decantado e removido o sobrenadante para finalmente obter 400 mL de coagulante recuperado por tratamento térmico (Ver Figura 16).

Figura 16 - Coagulante recuperado por tratamento térmico.



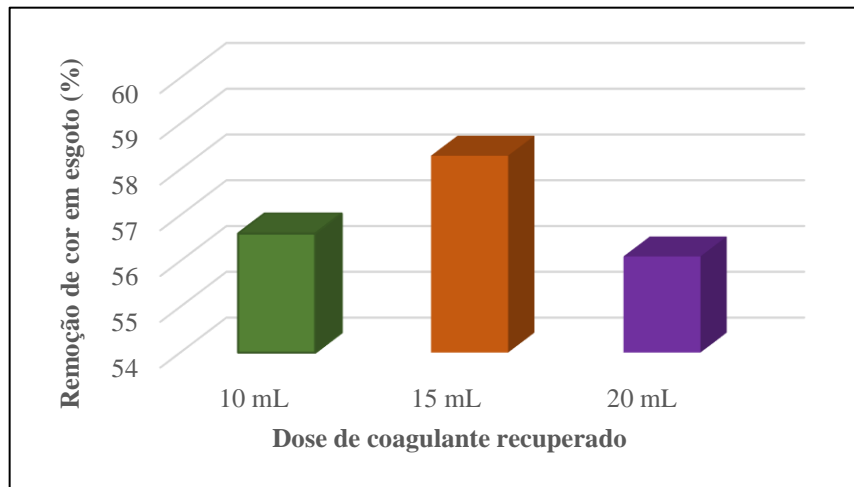
Fonte: Autor.

## 5.5 EFICIÊNCIA DO COAGULANTE RECUPERADO POR TRATAMENTO TÉRMICO

### 5.5.1 Remoção de turbidez e cor em esgoto

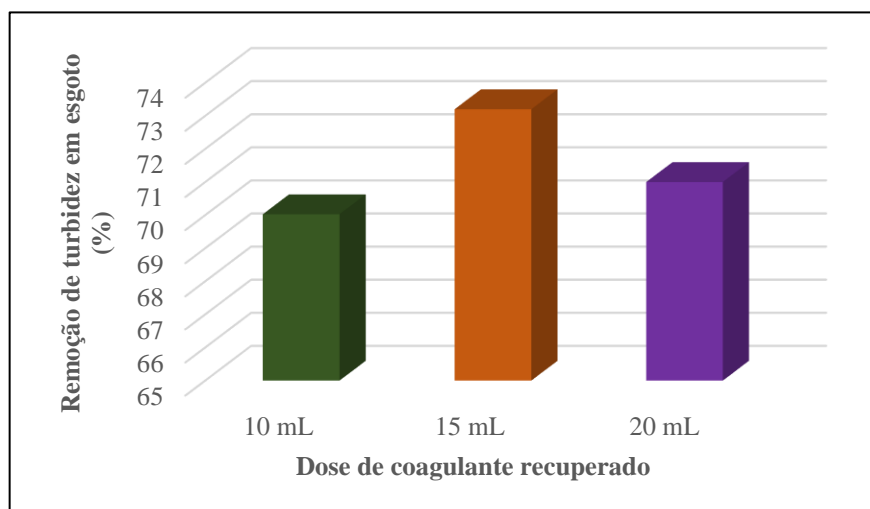
A Figura 17 estão apresentados os resultados de remoção média de cor com as 3 doses implementadas, onde a dose de 15 mL registrou a maior eficiência de remoção com valor de  $58,3 \pm 0,147\%$  seguida das doses de 10 mL e 20 mL, que apresentaram resultados muito semelhantes com valores de  $56,6 \pm 0,155\%$  e  $56,1 \pm 0,068\%$  respectivamente.

Figura 17 - Resultados de remoção média de cor no esgoto com coagulante recuperado por tratamento térmico.



A Figura 18 apresenta os resultados de remoção média de turbidez com as 3 doses implementadas, onde a dose de 15 mL registrou a maior eficiência de remoção com valor de  $73,2 \pm 0,371\%$  seguida das doses de 10 mL e 20 mL 1,000, que apresentaram resultados muito semelhantes com valores de  $70,0 \pm 0,427\%$  e  $71,0 \pm 1,000$  respectivamente.

Figura 18 - Resultados de remoção média de turbidez no esgoto com coagulante recuperado por tratamento térmico.



### 5.5.2 Remoção de turbidez e cor em água bruta

A Tabela 12 apresenta os resultados registados de eficiência de remoção de cor com coagulantes recuperados por tratamento térmico em água bruta, porém para este tipo da água os tratamentos não geraram remoção e pelo contrário, houve um aumento nos valores de cor.

Tabela 12 - Resultados de remoção de cor na água bruta com coagulante recuperado por tratamento térmico.

<b>Cor inicial (UPCo): 119</b>		
<b>Tratamento (mL)</b>	<b>Valores de Cor final (UPCo)</b>	<b>Remoção média por tratamento (%)</b>
10	190	0
	191	
	193	
15	221	0
	231	
	230	
20	265	0
	264	
	265	

A Tabela 13 apresenta os resultados registados de eficiência de remoção de turbidez com coagulantes recuperados por tratamento térmico em água bruta, porém para este tipo da água os tratamentos não geraram remoção e pelo contrário, houve um aumento nos valores de turbidez.

Tabela 13 - Resultados de remoção de turbidez na água bruta com coagulante recuperado por tratamento térmico

Turbidez inicial (NTU): 8,7		
Tratamento (mL)	Valores de turbidez final (NTU)	Remoção média por tratamento (%)
10	13,5	0
	12,5	
	12,5	
15	15,7	0
	16,2	
	16,1	
20	21,2	0
	21,6	
	22,3	

Fonte: Autor.

Os resultados de remoção de turbidez e cor em água bruta mostraram ineficácia do coagulante recuperado por tratamento térmico, isso pode estar relacionado a vários fatores, a peneira utilizada na pesquisa possuía tamanho de poro de 1 x 1 mm (Peneira No 18), de acordo com os resultados obtidos por Shiva e colaboradores (2019), que constataram em sua pesquisa que a maior eficiência de remoção dos corantes, estavam presentes tamanhos de poros de 75 µm (Peneira No 200) a 90 µm (Peneira No 170), pois tamanhos maiores não retêm corretamente as impurezas, o que levaria a uma ré estabilização dos coloides, diminuindo a remoção.

De acordo com Scalize e colaboradores (2019) a ineficiência de remoção e aumento dos valores de turbidez e cor à medida que as doses são aumentadas, pode estar relacionado ao aumento da matéria orgânica liberada. Outras pesquisas observaram aumento na quantidade de sólidos nos coagulantes recuperados e posteriormente aumento na turbidez da água tratada. O aumento de sólidos diminui a concentração de alumínio, que não é suficiente para desestabilizar a superfície dos coloides (Tobiason *et al*, 2003).

Estes resultados também são diferentes do que foi registrado por Xu e colaboradores (2015), que utilizaram lodos de alumínio como auxiliar nos processos de coagulação em águas brutas de baixa turbidez e concluíram que a reciclagem destes lodos, além de ser efetivo, tem um efeito econômico ao reduzir a dosagem de coagulante puro em até 50%.

## 5.6 ACIDIFICAÇÃO

A Tabela 14 apresenta a quantidade de ácido sulfúrico necessária para obter os valores de pH pretendidos para um litro de amostra.

Tabela 14. Quantidade de ácido usado

Tratamentos	Ácido sulfúrico 90% número de gotas	Ácido sulfúrico 90% mL
A: 1,5	120	6,0
B: 2,0	70	3,5
C: 2,5	40	2,0
D: 3,0	15	0,75

A quantidade de alumínio recuperado aumentou até 810,5 nos tratamentos com pH: 1,5, (Ver Tabela 14). No entanto a quantidade de ácido sulfúrico utilizado também aumentou passando de 0,75 mL para obter valores de pH de 3,0 a 6 mL para obter valores de pH de 1,5. Nair e Ahammed (2014), registraram que passou de 4,4 mmol para 23,3 mmol de ácido sulfúrico para obter valores de pH desejados de 3 a 1 respectivamente em LETA onde o PAC foi usado como solução coagulante.

## 5.7 RECUPERAÇÃO MÉTODO ÁCIDO

A Figura 19 apresenta os coagulantes recuperados pelo método ácido com alguns tratamentos utilizados. As diferentes cores obtidas mostram que o coagulante A = 1,5 pH para todas as diferentes velocidades utilizadas apresentou uma cor âmbar clara que conforme ficha técnica do Policloreto de Alumínio utilizado na ETA Centenário, é muito próximo da cor do coagulante puro isso indica a presença de maior quantidade de alumínio recuperado (QUIMPAC, 2012).

Figura 19 - Coagulante recuperado por método ácido.



Fonte. Autor.

A Tabela 15 apresenta os resultados de recuperação de alumínio no lodo da ETA Centenário pelo método ácido, utilizando combinações dos dois fatores propostos pH e velocidade de mistura e seus diferentes níveis

Tabela 15 - Recuperação de alumínio (mg Al/L) por método ácido de recuperação (Ver anexo 8.3).

Tratamento	pH	Velocidade de mistura (rpm)	Recuperação de alumínio (mg Al/L)
A1	1,5	125	810,5
A2	1,5	150	566,0
A3	1,5	175	800,5
A4	1,5	200	633,5
B1	2,0	125	386,5
B2	2,0	150	295,5
B3	2,0	175	342,0
B4	2,0	200	294,5
C1	2,5	125	108,0
C2	2,5	150	45,0
C3	2,5	175	71,5
C4	2,5	200	102,0
D1	3,0	125	2,2
D2	3,0	150	6,3
D3	3,0	175	10,2
D4	3,0	200	95,0

Fonte: Autor.

A Tabela 15 mostra o comportamento dos diferentes tratamentos utilizados para recuperação do coagulante pelo método ácido. Pode-se observar que os

tratamentos com pH A = 1,5 foram os mais eficientes para recuperar o alumínio com valores entre 566,0 e 810,5 mgAl/L, seguido dos tratamentos B = 2,0 com valores entre 294,5 e 386,5 mgAl/L, esses resultados são semelhantes ao encontrado por Ayoub e Abdelfatta (2016) e Ramadan e Sayed (2020), que em suas pesquisas constataram que a acidificação até pH = 1,5 foi o ponto ideal para recuperação do coagulante. Além disso, Maraschin e colaboradores (2021) obtiveram recuperações de íons alumínio de até 90% com processos de acidificação até pH = 2,0.

## 5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RECUPERAÇÃO DE COAGULANTE

### 5.8.1 Fator PH

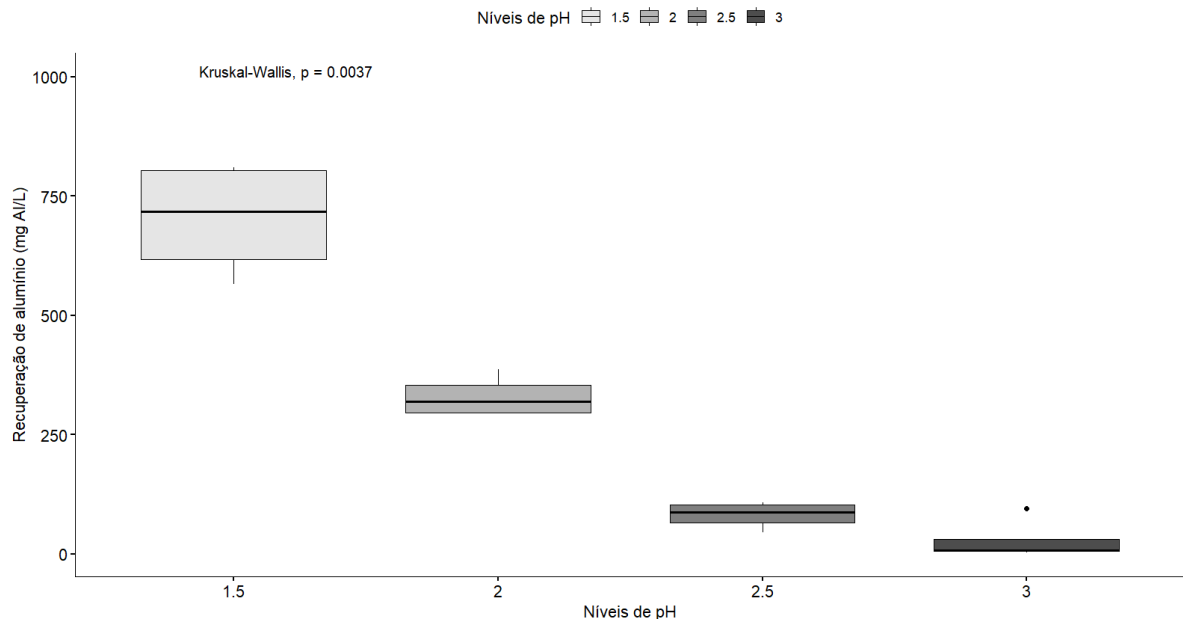
Primeiramente foi realizado o teste de Shapiro-Wilk obteve-se um valor  $P = 0,01995$ , o que determinou que os resultados não apresentavam distribuição normal, posteriormente foi utilizado o teste de Fligner-Killeen, obtendo valor  $P = 0,03332$  onde os dados não apresentaram homoscedasticidade (Ver Anexo 8.4.1). Por último foi realizada a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis (Ver Tabela 16).

Tabela 16 – Análise de Kruskal-Wallis para recuperação de alumínio

	<b>Qui-quadrado</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>P.valor</b>
<b>pH</b>	13,5	3	0,0037

O Kruskal-Wallis demonstrou a diferença estatisticamente significativa entre os diferentes níveis de pH utilizados para recuperação do coagulante com valor  $P = 0,0037$  como pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 – Box plot para recuperação de coagulante em função de pH



Os resultados da análise estatística mostram que o pH afeta diretamente a recuperação de alumínio na LETA, por isso é necessário padronizar processos eficientes de adição de ácido em escala real para eventuais aplicações em ETA e posteriormente realizar análises de custos que avaliem a viabilidade econômica deste tipo de tratamentos.

### 5.8.2 Fator velocidade de mistura

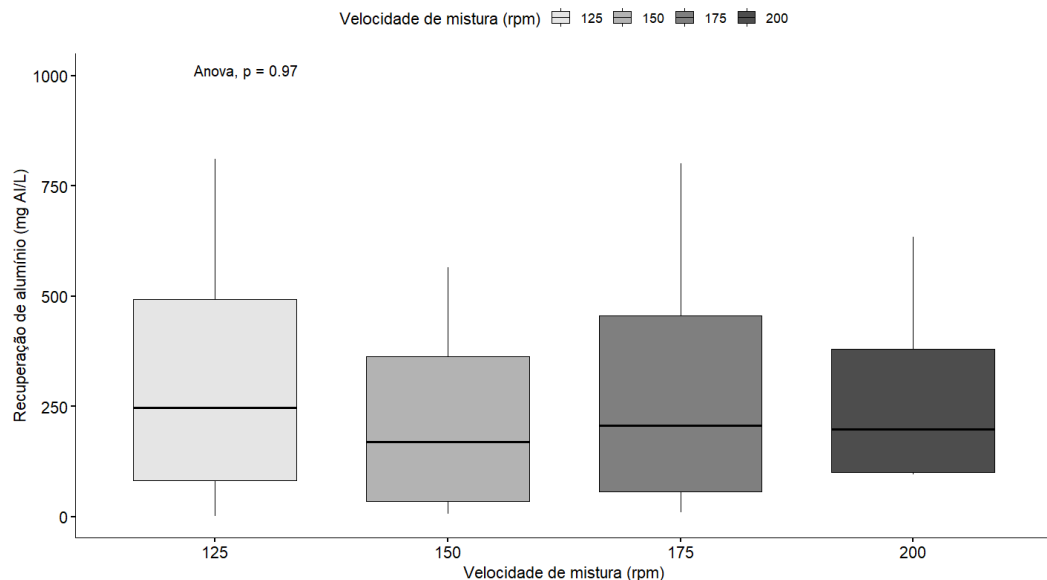
Inicialmente foi realizado o teste de Shapiro-Wilk obteve-se um valor  $P = 0,01995$ , o que determinou que os resultados não apresentavam distribuição normal, posteriormente foi utilizado o teste de Fligner-Killeen obtendo um valor  $P = 0,4259$  onde os dados apresentaram homoscedasticidade (Ver Anexo 8.4.1). Por último foi realizada a análise paramétrica ANOVA (Ver Tabela 17).

Tabela 17 – Análise de ANOVA para recuperação de alumínio

	Soma de quadrados	F calculado	Quadrado meio	Graus de liberdade	P.valor
<b>Velocidade de mistura</b>	691	0,008	691	3	0,929

A ANOVA demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes níveis de velocidade de mistura utilizados para recuperação do coagulante com valor  $P = 0,929$  como pode ser visto na Figura 21. É importante destacar que a ANOVA é um teste bastante robusto para desvios da normalidade no sentido de que violações deste suposto não alteram substancialmente seus resultados, mesmo quando os dados não são normalmente distribuídos o valor nominal e real dos erros do tipo I diferem minimamente (Lix *et al.*, 1996).

Figura 21 – Box plot para recuperação de coagulante em função da velocidade de mistura



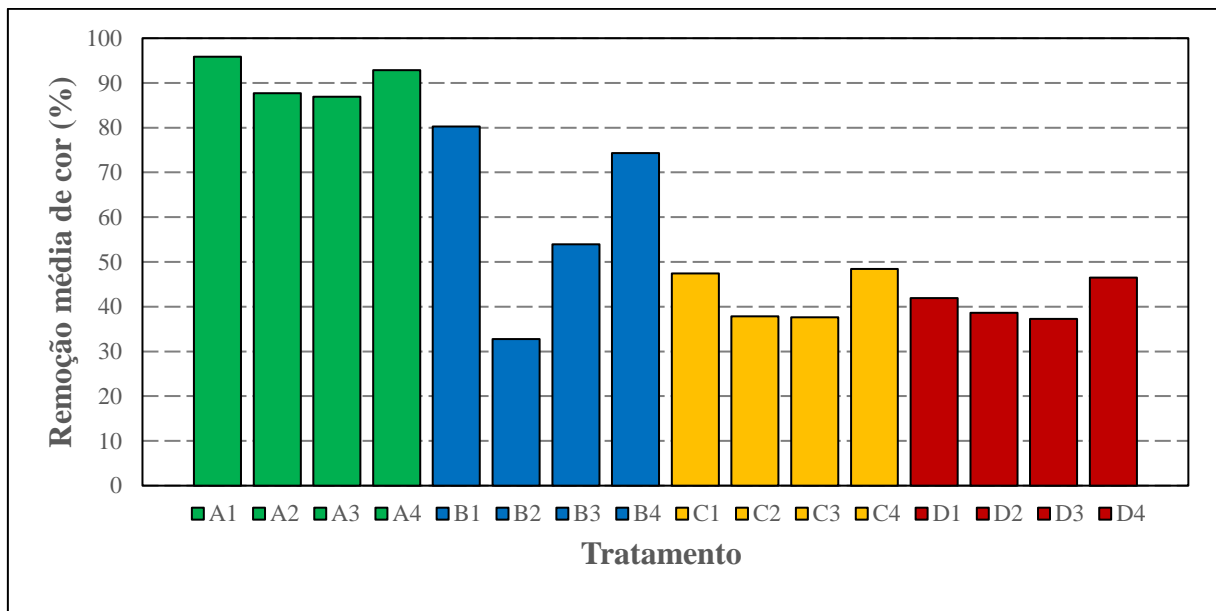
Embora os diferentes níveis de velocidade de mistura utilizados nesta pesquisa não apresentem diferenças estatisticamente significativas na recuperação do alumínio é necessário projetar estruturas que permitam uma mistura eficiente de maiores quantidades de lodo acidificado, uma vez que este processo é essencial para a solubilização do alumínio e posterior extração, depois é necessário realizar análises de custo e operação para determinar a viabilidade desses processos em escala real.

## 5.9 EFICIÊNCIA DO COAGULANTE RECUPERADO POR MÉTODO ACIDO

### 5.9.1 Remoção de cor no esgoto

A Figura 22 apresenta os resultados registados utilizando coagulantes recuperados pelo método ácido para a remoção de cor no esgoto, os tratamentos A1, A2, A3 e A4 registraram os maiores valores com eficiências de remoção entre 86, 92-95, 84%.

Figura 22 - Avaliação de remoção de cor com coagulante recuperado por método ácido no esgoto.



Na avaliação das diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos utilizados na remoção de cor no esgoto, foram registados os seguintes resultados (Ver Anexo 8.4.2): Primeiro foi realizado o teste de Shapiro-Wilk obteve-se um valor  $P = 1,928^{-09}$ , o que determinou que os resultados não apresentavam distribuição normal, posteriormente foi utilizado o teste de Fligner-Killeen, obtendo valor  $P = 7,214^{-06}$  onde os dados não apresentaram homoscedasticidade. Por último foi realizada a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis que demonstrou a diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tratamentos utilizados na remoção de cor no esgoto com valor  $P = 1,312^{-06}$  (Ver Tabela 18).

Tabela 18 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de cor no esgoto

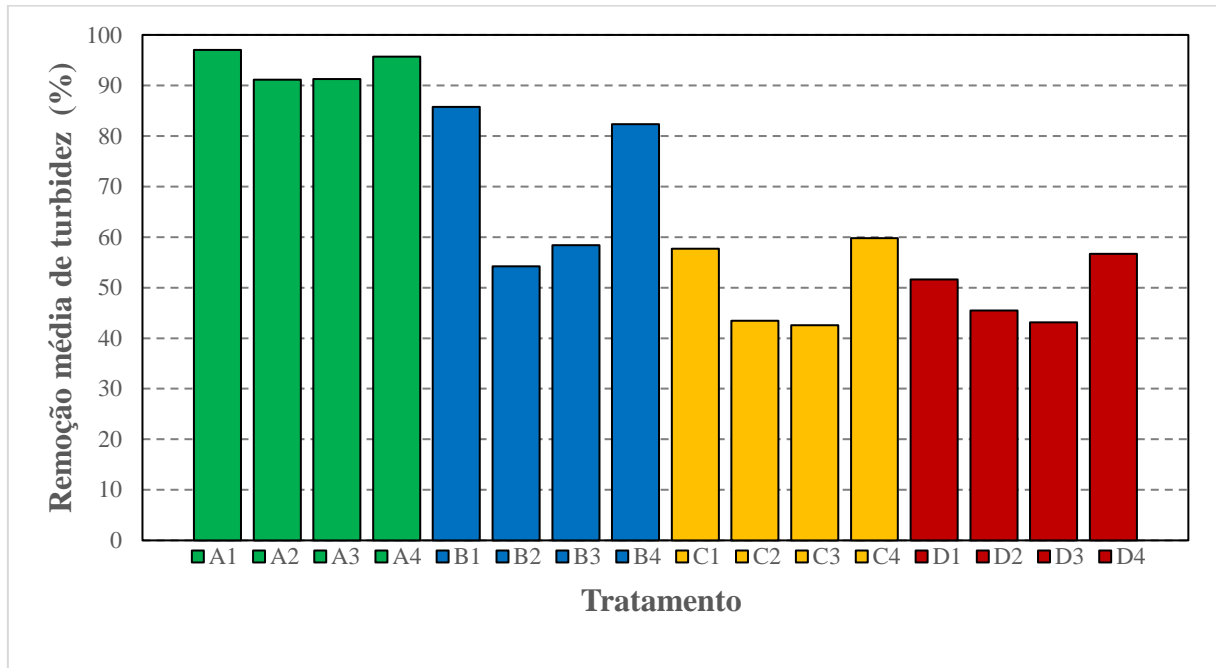
	<b>Qui-quadrado</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>P. valor</b>
<b>Tratamentos</b>	30,091	3	1,321 <sup>-06</sup>

Os resultados de remoção de cor são semelhantes aos registrados por Arantes e colaboradores (2012), que utilizaram soluções coagulantes derivadas de *Moringa oleifera* para tratamento da água sintética e registraram valores de remoção entre 83,0 - 98,0% utilizando diferentes tratamentos. Coagulantes orgânicos à base de taninos vegetais também foram avaliados para o tratamento do esgoto sanitário, reportando valores de remoção de cor de até 83,35% (Da Rosa, *et al* 2019). Além disso, foram realizadas pesquisas para tratamento de efluentes de galvanoplastia, com coagulantes à base de quitosana, obtendo remoções de cor de até 97,7% (Vaz *et al*, 2010).

### 5.9.2 Remoção de turbidez no esgoto

A Figura 23 apresenta os resultados registrados com os coagulantes recuperados pelo método ácido para remoção de turbidez em esgoto, todos os coagulantes recuperados apresentaram capacidade de remoção de turbidez superior a 40%, porém, os coagulantes A recuperados com pH de 1,5 obtiveram as maiores eficiências de remoção com valores entre 91,16 e 97,06%, seguidos pelos coagulantes recuperados com pH 2,0 que alcançaram remoções entre 54,23 e 85,77%.

Figura 23 - Avaliação de remoção de turbidez com coagulante recuperado por método ácido no esgoto



Na avaliação das diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos utilizados na remoção de turbidez no esgoto, foram registados os seguintes resultados (Ver Anexo 8.4.3): Primeiro foi realizado o teste de Shapiro-Wilk obteve-se um valor  $P = 1,379^{-05}$ , o que determinou que os resultados não apresentavam distribuição normal, posteriormente foi utilizado o teste de Fligner-Killen, obtendo valor  $P = 7,214^{-06}$  onde os dados não apresentaram homoscedasticidade. Por último foi realizada a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis que demonstrou diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tratamentos utilizados na remoção de turbidez no esgoto com valor  $P = 1,757^{-07}$  (Ver Tabela 19).

Tabela 19 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de turbidez no esgoto

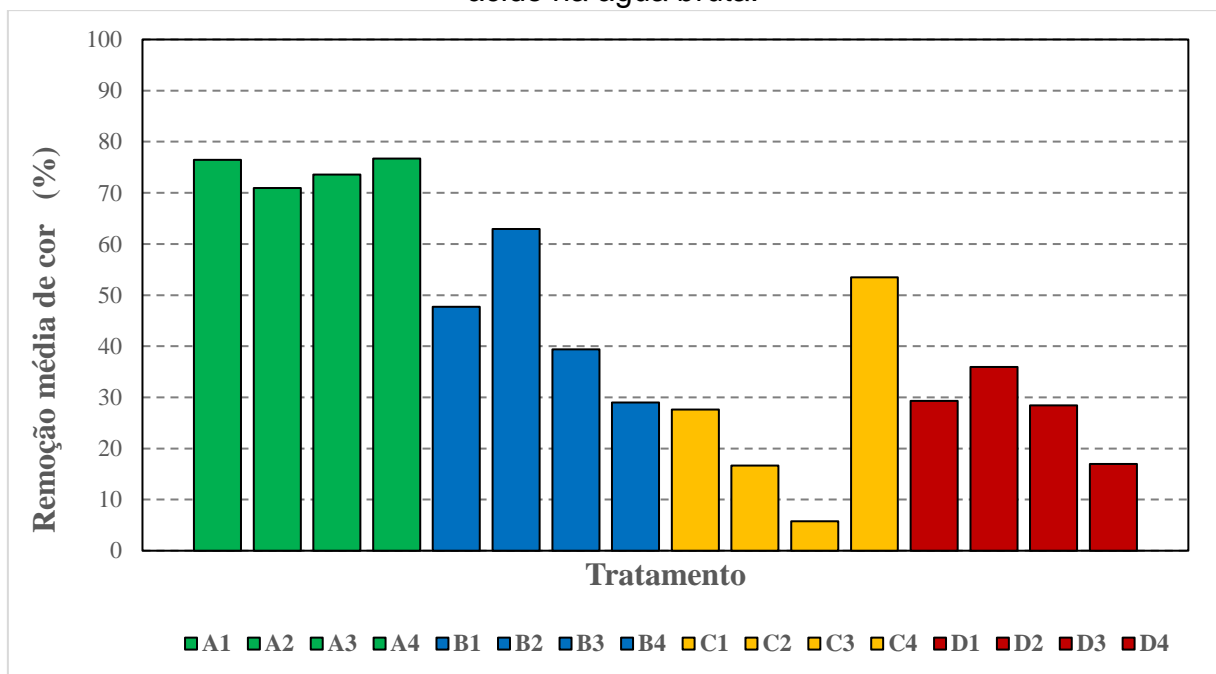
	Qui-quadrado	Graus de liberdade	P. valor
<b>Tratamentos</b>	34,247	3	1,757 <sup>-07</sup>

Estes resultados são semelhantes aos obtidos em outras pesquisas como a realizada por Mora-León (2022), que recuperou coagulantes de lodos de alumínio utilizando ácido sulfúrico e alcançaram remoções máximas de turbidez em esgoto doméstico de 96 %. Por outra parte Nair e Ahammed (2014), recuperaram coagulante pelo método ácido usando ácido sulfúrico em lodo da LETA onde o PAC é usado como solução coagulante e o utilizaram para tratar o efluente de um reator UASB, que recebeu esgoto doméstico, conseguindo remoções de turbidez de até 80%.

### 5.9.3 Remoção de cor na água bruta

A Figura 24 apresenta os resultados registados utilizando coagulantes recuperados pelo método ácido para a remoção de cor na água bruta, os tratamentos A1, A2, A3 e A4 registraram os maiores valores com eficiências de remoção entre 70,98 - 76,72%.

Figura 24 - Avaliação de remoção de cor com coagulante recuperado por método ácido na água bruta.



Na avaliação das diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos utilizados na remoção de cor na água bruta, foram registados os seguintes resultados (Ver Anexo 8.4.4): Primeiro foi realizado o teste de Shapiro-Wilk

obteve-se um valor  $P = 0,002086$ , o que determinou que os resultados não apresentavam distribuição normal, posteriormente foi utilizado o teste de Fligner-Killeen, obtendo valor  $P = 2,957^{-07}$  onde os dados não apresentaram homoscedasticidade. Por último foi realizada a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis que demonstrou diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tratamentos utilizados na remoção de cor na água bruta com valor  $P = 3,638^{-07}$  (Ver Tabela 20).

Tabela 20 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de cor na água bruta

	<b>Qui-quadrado</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>P.valor</b>
<b>Tratamentos</b>	32,749	3	$3,638^{-07}$

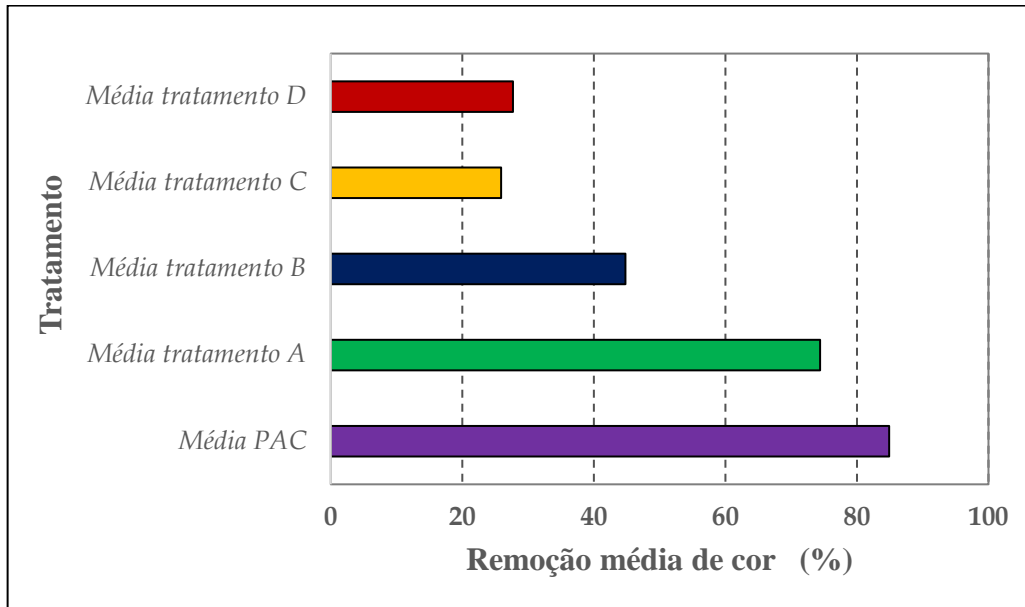
Os resultados de remoção de cor registrados são baixos comparados ao obtido por Vilela (2020), que apresentou remoções de cor até 99% em água bruta com coagulantes recuperados via alcalina-acida utilizando hidróxido de sódio (NaOH – 20%), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$  – 20%) e ácido clorídrico (HCl – 20%).

#### **5.9.4 Comparação dos resultados de remoção de cor pelos tratamentos avaliados e O PAC DA ETA**

Na Figura 25 estão apresentados uma comparação entre os valores médios de remoção de cor registrados pelos quatro grupos de tratamentos e PAC comercial utilizado na ETA Centenário. A comparação foi feita com os dados registrados no sistema de controle diário de qualidade de EMPOPASTO (Ver Anexo 8.4.6) obtidos no mesmo dia em que foram realizados os testes de remoção com coagulantes recuperados. Durante esse dia a ETA funcionou com dose média de PAC de 40 ppm.

No entanto, embora os tratamentos A registraram uma remoção média de 74,4%, estão muito abaixo dos valores registrados com PAC comercial, que registrou um valor médio de remoção de 84,9%.

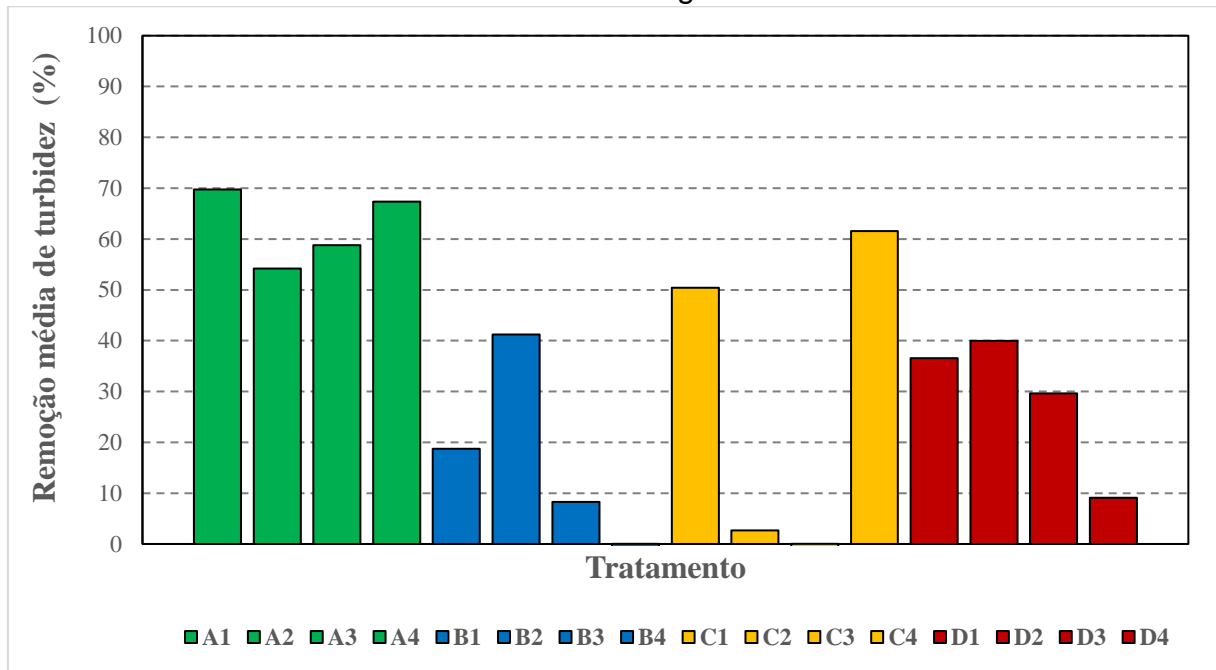
Figura 25 - Comparação dos resultados de remoção de cor dos tratamentos e PAC utilizado pela ETA Centenário



### 5.9.5 Remoção de turbidez na água bruta

A Figura 26 apresenta os resultados obtidos utilizando coagulantes recuperados pelo método ácido para remoção de turbidez em água bruta.

Figura 26 - Avaliação de remoção de turbidez com coagulante recuperado por método ácido em água bruta.



Primeiramente foi realizado o teste de Shapiro-Wilk obteve-se um valor  $P = 0,002258$ , o que determinou que os resultados não apresentavam distribuição normal, posteriormente foi utilizado o teste de Fligner-Killeen, obtendo valor  $P = 5,055^{-05}$  onde os dados não apresentaram homoscedasticidade (Ver Anexo 8.4.5). Por último foi realizada a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis que demonstrou diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tratamentos utilizados na remoção de turbidez na água bruta com valor  $P = 3,587^{-05}$  (Ver Tabla 21).

Tabela 21 – Análise de Kruskal-Wallis para remoção de turbidez na água bruta

	Qui-quadrado	Graus de liberdade	P. valor
<b>Tratamentos</b>	23,347	3	$3,587^{-05}$

Os coagulantes recuperados para pH 1,5 obtiveram as maiores eficiências de remoção com valores entre 54,17 e 69,73% esses valores são baixos em comparação com o relatado em outras pesquisas onde os coagulantes foram recuperados por acidificação e utilizados em água bruta, Hamzah et al (2022) mostram resultados de

remoção de turbidez de até 99,47%, muito semelhantes ao relatado por Ruziqna et al (2020) que demonstraram eficiências de remoção de até 93,28%. No entanto, os resultados obtidos são semelhantes aos encontrados em outra investigação onde os coagulantes recuperados por processos de acidificação combinados com processos de filtração conseguiram remover entre 60%-70% da turbidez da água bruta (Keeley et al., 2014). Além disso, Dahasahastra e colaboradores (2022) apresentaram resultados semelhantes com coagulantes recuperados de lodo de alumínio acidificado com ácido nítrico, esses coagulantes alcançaram 74% de remoções de turbidez.

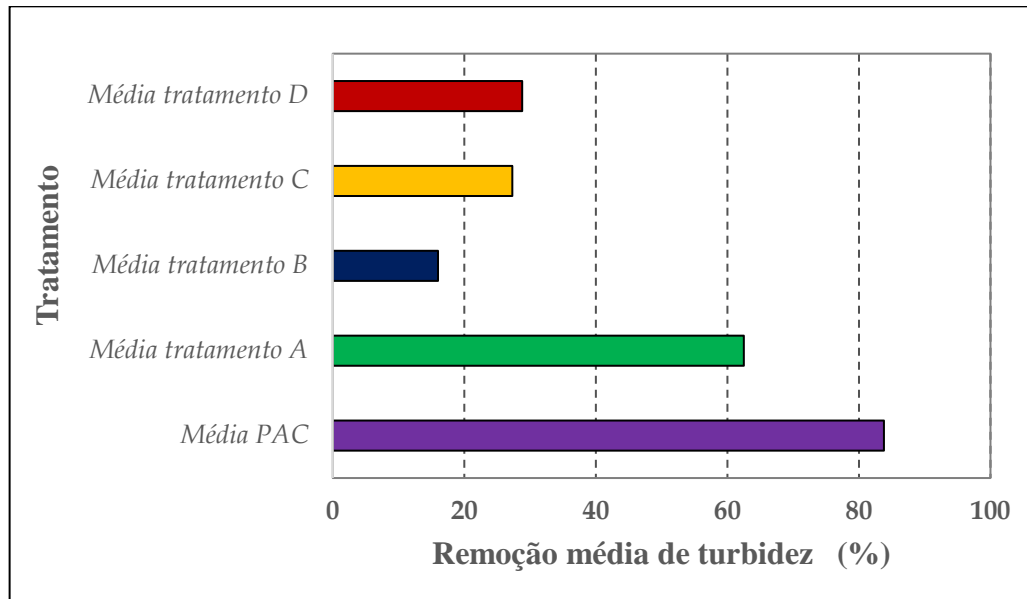
Por outro lado, Lebogang e colaboradores (2023), em sua pesquisa, utilizaram coagulantes recuperados pelo método ácido em LETA que utiliza coagulante à base de alumínio para avaliar a remoção em águas sintéticas de baixa (20 NTU), média (50 NTU) e alta turbidez (80 NTU) e registraram valores de remoção de 97,9%, 99,9% e 99,5% respectivamente. A dose aplicada também desempenhou um papel importante porque uma baixa concentração de coagulante resulta em menor colisão de partículas dificultando a formação de flocos. O oposto também ocorre em concentrações muito elevadas de coagulante, uma vez que os flocos não são formados corretamente, podendo até aumentar a turbidez (Febrina; Mesra, 2020).

#### **5.9.6 Comparação dos resultados de remoção de turbidez pelos tratamentos avaliados e o PAC DA ETA**

Na Figura 27 é apresentada uma comparação entre os valores médios de remoção de turbidez registrados pelos quatro grupos de tratamentos e PAC comercial utilizado na ETA Centenário. A comparação é feita com os dados registrados no sistema de controle de qualidade de EMPOPASTO (Ver Anexo 8.4.6) obtidos no mesmo dia em que foram realizados os testes de remoção com coagulantes recuperados. Durante esse dia a ETA funcionou com dose média de PAC de 40 ppm.

No entanto, embora os tratamentos A registraram uma remoção média de 62,5%, estão muito abaixo dos valores registrados com PAC comercial, que reportou um valor médio de remoção de 83,8%.

Figura 27 - Comparação dos resultados de remoção de turbidez dos tratamentos e PAC utilizado na ETA Centenário



Shawal e colaboradores (2023), em sua pesquisa apresentam que doses de 30 ppm de coagulante recuperado pelo método ácido registraram valores de remoção de turbidez de 97% valores semelhantes aos registrados com PAC comercial, isso demonstrou que este tipo de coagulante recuperado tem potencial para ser utilizado no tratamento de água, reduzindo a dependência do PAC comercial, assim como os custos operacionais da ETA.

## 6 CONCLUSÃO

Das variáveis analisadas no método ácido de recuperação, o pH foi a que mais influenciou no processo, obtendo a maior recuperação em pH 1,5, com valores de até 810,5 mg Al/L. A variável velocidade de mistura e seus diferentes níveis não afetou a recuperação do alumínio.

O coagulante recuperado pelo método ácido apresentou maiores eficiências na remoção de cor e turbidez nas duas matrizes avaliadas, comparado com o coagulante recuperado pelo método térmico. As maiores eficiências de remoção foram registradas no esgoto com valores máximos de 95,84% para cor e 97,06% para turbidez com doses de 15 mL.

Os dois tratamentos propostos nesta pesquisa apresentam resultados promissores para o reaproveitamento de LETA, como tratamento primário avançado em estações de tratamento de esgoto de forma que esta alternativa poderia reduzir significativamente os custos operacionais e aquisição de coagulantes puros.

### 6.1 RECOMENDAÇÕES

Aumentar o número de experimentos com diferentes doses dos coagulantes recuperados para encontrar o ponto ideal de remoção do contaminantes.

Realizar uma caracterização ampla do LETA, no estado sólido e líquido que permita compreender mais claramente as variáveis que influenciam na recuperação dos coagulantes pelos diferentes tratamentos.

Caracterizar a água tratada com coagulantes recuperados em termos da geração de subprodutos ligados a este tipo de coagulantes para avaliar qualquer risco biológico ou químico.

Pesquisar a utilização de outros tipos de ácidos em pesquisas futuras como ácido nítrico e ácido clorídrico para avaliar seu desempenho na recuperação do alumínio presente no LETA.

## REFERÊNCIAS

- AAMIR, M.; MAHMOOD, Z.; NISAR, A.; FARID, A.; KHAN, T. A.; ABBAS, M.; WASEEM, M. Performance evaluation of sustainable soil stabilization process using waste materials. **Processes**, Basileia, v. 7, n. 6, p. 378, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr7060378>.
- ACKAH, L. A.; GURU, R.; PEIRAVI, M.; MOHANTY, M.; MA, X.; KUMAR, S.; LIU, J. Characterization of Southern Illinois water treatment residues for sustainable applications. **Sustainability**, Basel, v. 10, n. 5, p. 1374, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10051374>.
- ADEEL, M.; SONG, X.; WANG, Y.; FRANCIS, D.; YANG, Y. Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: A critical review. **Environment international**, Oxford, v. 99, p. 107-119, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.010>.
- AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 35, p. 950-955, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.088>.
- AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Simultaneous modelling of coagulant recovery and reuse by response surface methodology. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 285, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112139>.
- American Public Health Association - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017.
- ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A.; PATERNIANI, J. E. Processamento de sementes de Moringa oleifera utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 661-666, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000600011>.
- AYOUB, M.; ABDELFATTAH, A. A parametric study of alum recovery from water treatment sludge. **Water Science and Technology**, London, v. 74, n. 2, p. 516-523, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.241>.
- BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, New York, v. 37, n. 2, p. 129-164, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643380600776239>.
- BAMDAD, H.; HAWBOLDT, K.; MACQUARRIE, S. A review on common adsorbents for acid gases removal: Focus on biochar. **Renewable and Sustainable Energy**

**Reviews**, Oxford, v. 81, p. 1705-1720, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.261>.

BARAKWAN, R. A.; TRIHADININGRUM, Y.; BAGASTYO, A. Y. Characterization of alum sludge from surabaya water treatment plant, Indonesia. **Journal of Ecological Engineering**, Lublin, v. 20, n. 5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/104619>.

BASHAR, N. A. M.; ZUBIR, Z. H.; AYOB, A.; ALIAS, S. Water treatment sludge as an alternative liner for landfill site: FTIR and XRD analysis. **AIP Conference Proceedings**, Melville, v. 1774, n. 1, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4965082>.

BRUNNER, I.; SPERISEN, C. Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00172>.

CAMPBELL, A.; HAMAI, D.; BONDY, S. C. Differential toxicity of aluminum salts in human cell lines of neural origin: implications for neurodegeneration. **Neurotoxicology**, Amsterdam, v. 22, n. 1, p. 63-71, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0161-813X\(00\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0161-813X(00)00007-3).

CASTALDI, P.; MELE, E.; SILVETTI, M.; GARAU, G.; DEIANA, S. Water treatment residues as accumulators of oxoanions in soil. Sorption of arsenate and phosphate anions from an aqueous solution. **Journal of hazardous materials**, Amsterdam, v. 264, p. 144-152, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.10.037>.

CASTRO, R.; CASTRO, M.; VIDAL, J.; PERAZA, F.; OSUNA, A. Metodología Superficie de Respuesta: Tres aplicaciones a conjuntos de datos reales. **Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Tepic**. Tepic, v. 11, n. 1, p. 282-290, 2019. Disponível em: <https://www.academiajournals.com/pub-tepic-2019>. Acesso em: 20 out. 2023.

CHAKRABORTY, T.; BALUSANI, D.; SMITH, S.; SANTORO, D.; WALTON, J.; NAKHLA, G.; RAY, M. B. Reusability of recovered iron coagulant from primary municipal sludge and its impact on chemically enhanced primary treatment. **Separation and Purification Technology**, Oxford, v. 231, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115894>.

CHEN, Y. J.; WANG, W. M.; WEI, M. J.; CHEN, J. L.; HE, J. L.; CHIANG, K. Y.; WU, C. C. Effects of Al-coagulant sludge characteristics on the efficiency of coagulants recovery by acidification. **Environmental technology**, Oxfordshire, v. 33, n. 22, p. 2525-2530, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.679696>.

CHEN, S.; CHEN, Y.; PEI, H.; HOU, Q. Biofilm development dynamics and pollutant removal performance of ceramsite made from drinking-water treatment sludge. **Water Environment Research**, Hoboken, v. 91, n. 7, p. 616-627, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/wer.1089>.

COLOMBIA. Ministerio da Justicia. Decreto 1287 de 2014. Dispone por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Diario Oficial: Bogotá, D.C., año cl. N. 49208. 10 julio de 2014. p. 18. Disponível em: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1259502>. Acesso em: 15 out. 2024.

COLOMBIA. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. **Resolución 0330 – 2017, de 08 de junho de 2017**. Dispone por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá: Vivienda, 2017. Disponível em: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>. Acesso em: 7 jul. 2023.

CORDEIRO, J. S. Problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000737943>. Acesso em: 20 dez. 2023.

DA ROSA KÜHNE, A.; CERON, L. P.; MACHEMER, P. C. Avaliação laboratorial para escolha de coagulante no tratamento de esgoto sanitário. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, São José dos Pinhais, v. 2, n. 3, p. 889-899, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/1894>. Acesso em: 18 nov. 2024.

DAHASAHASTRA, A. V.; BALASUNDARAM, K.; LATKAR, M. V. Turbidity removal from synthetic turbid water using coagulant recovered from water treatment sludge: A potential method to recycle and conserve aluminum. **Hydrometallurgy**, Amsterdam, v. 213, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2022.105939>.

DAGNINO, J. Análisis de varianza. **Revista chilena de anestesia**, Santiago, v. 43, n. 4, p. 306-310, 2014. Disponível em: <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2024.

DASSANAYAKE, K. B.; JAYASINGHE, G. Y.; SURAPANENI, A.; HETHERINGTON, C. A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. **Waste Management**, Oxford, v. 38, p. 321-335, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.025>.

DENIZ, F.; KARAMAN, S. Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by pine tree leaves. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 67-74, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.029>.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. Seleção de tecnologias de tratamento de água. São Carlos: LDIBE, 2008. Volume 1.

DÍAZ-MUÑOZ, D. A. **Aprovechamiento del sulfato de aluminio extraído a partir de los lodos generados en la planta de potabilización de agua Casigana de la EP-EMAPA-A, para la clarificación de agua**. 2017. Monografía (Titulación Ingeniero Bioquímico), Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e

Ingeniería en Alimentos, Ambato, 2017. Disponible em:  
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26011>. Acesso em: 30 jan. 2024.

DUAN, J.; GREGORY, J. Coagulation by hydrolysing metal salts. **Advances in colloid and interface science**, Amsterdam, v. 100, p. 475-502, 2003. DOI:  
[https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(02\)00067-2](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(02)00067-2).

ESCOBAR, J. C. Gestión Integral de Manejo de Lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable. *In: Curso de Operación de Plantas de Potabilización de Agua*. Bogotá: ACODAL, 2004.

ESPIGARES GARCÍA, M.; PEREZ LÓPEZ, J. A. **Aspectos sanitarios del estudio de las aguas**. Granada: Universidad de Granada, 1985.

EVUTI, A. M.; LAWAL, M. Recovery of coagulants from water works sludge: A review. **Advances in Applied Science Research**, London, v. 2, n. 6, p. 410-417, 2011.

FEBRINA, W.; MESRA, T. Optimum dosage of coagulant and flocculant on sea water purification process. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Montreal, v. 469, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/469/1/012023>.

FOUAD, M. M.; RAZEK, T. M.; ELGENDY, A. S. Utilization of drinking water treatment slurry to produce aluminum sulfate coagulant. **Water Environment Research**, Hoboken, v. 89, n. 2, p. 186-191, 2016. DOI:  
<https://doi.org/10.2175/106143016X14504669769056>.

RAMÍREZ, J. A. G.; HURTADO, J. C. U. **Reutilización de lodos de planta de potabilización en el tratamiento de aguas residuales**. 2003. (Titulación Ingeniero Ambiental) Programa de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2003. Disponible em: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2842>. Acesso em: 15 fev. 2024.

GONÇALVES, F.; SOUZA, C. H. U.; TAHIRA, F. S.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R. S. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista Dae**, São Paulo, v. 65, n. 205, p. 5-14, 2017. DOI:  
<https://doi.org/10.4322/dae.2016.018>.

GUTIÉRREZ, H.; DE LA VARA, R. **Análisis y diseño de experimentos**. México: McGraw-Hill Interamericana, 2008.

HAMZAH, N.; ROSHISHAM, M. A. F.; ZAKARIA, M. F.; BASRI, M. H. H.; AKBAR, N. A. Performance of recovered coagulant from water treatment sludge by acidification process. **Environment and Ecology Research**, San Jose, v. 10, n. 1, p. 21-30, 2022. DOI: 10.13189/eer.2022.100103.

HENRY, M.; BAUWENS, T.; HEKKERT, M.; KIRCHHERR, J. A typology of circular start-ups: An Analysis of 128 circular business models. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 245, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118528>.

HIDALGO, A. M.; MURCIA, M. D.; GOMEZ, M.; GOMEZ, E.; GARCÍA-IZQUIERDO, C.; SOLANO, C. Possible uses for sludge from drinking water treatment plants. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 143, n. 3, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001176](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001176).

HURLBERT, S. H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. **Ecological monographs**, Hoboken, v. 54, n. 2, p. 187-211, 1984. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942661>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PNSB: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html>. Acesso em: 13 fev. 2024.

IDEAM, INVEMAR. Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2021. 631 p. Disponível em: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/protocolos-procedimientos-y-metodologias>. Acesso em: 10 set. 2023.

JANGKORN, S.; KUHAKAEW, S.; THEANTANOO, S.; KLINLA-OR, H.; SRIWIRIYARAT, T. Evaluation of reusing alum sludge for the coagulation of industrial wastewater containing mixed anionic surfactants. **Journal of environmental sciences**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 587-594, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60451-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60451-2).

JIN, C.; ARCHER, G.; PARKER, W. Current status of sludge processing and biosolids disposition in Ontario. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 137, p. 21-31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.024>.

KATRIVESIS, F. K.; KARELA, A. D.; PAPADAKIS, V. G.; PARASKEVA, C. A. Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water. **Journal of Water Process Engineering**, Amsterdam, v. 27, p. 193-204, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.12.007>.

KEELEY, J.; SMITH, A. D.; JUDD, S. J.; JARVIS, P. Reuse of recovered coagulants in water treatment: an investigation on the effect coagulant purity has on treatment performance. **Separation and Purification Technology**, Oxford, v. 131, p. 69-78, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.04.033>.

KIMURA, M.; MATSUI, Y.; KONDO, K.; ISHIKAWA, T. B.; MATSUSHITA, T.; SHIRASAKI, N. Minimizing residual aluminum concentration in treated water by tailoring properties of polyaluminum coagulants. **Water research**, Oxford, v. 47, n. 6, p. 2075-2084, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.01.037>.

KLUCZKA, J.; ZOŁOTAJKIN, M.; CIBA, J.; STAROŃ, M. Assessment of aluminum bioavailability in alum sludge for agricultural utilization. **Environmental monitoring and assessment**, Dordrecht, v. 189, p. 1-8, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6133-x>.

KUMAR, R.; KANG, C. U.; MOHAN, D.; KHAN, M. A.; LEE, J. H.; LEE, S. S.; JEON, B. H. Waste sludge derived adsorbents for arsenate removal from water. **Chemosphere**, Oxford, v. 239, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124832>.

LEBOGANG, K.; NTULI, F.; LEKGOBA, T.; KANDJOU, V.; TSIE, M. Characterization and utilization of water treatment sludge for coagulation of raw water. **Water Science & Technology**, London, v. 87, n. 7, p. 1587-1599, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2023.090>.

LI, X.; CUI, J.; PEI, Y. Granulation of drinking water treatment residuals as applicable media for phosphorus removal. **Journal of environmental management**, Amsterdam, v. 213, p. 36-46, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.056>.

LI, C. W.; LIN, J. L.; KANG, S. F.; LIANG, C. L. Acidification and alkalization of textile chemical sludge: volume/solid reduction, dewaterability, and Al (III) recovery. **Separation and Purification Technology**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 31-37, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.06.001>.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIX, L. M.; KESELMAN, J. C.; KESELMAN, H. J. Consequences of assumption violations revisited: A quantitative review of alternatives to the one-way analysis of variance F test. **Review of educational research**, Thousand Oaks, v. 66, n. 4, p. 579-619, 1996. DOI: <https://doi.org/10.3102/00346543066004579>.

LOPEZ, E.; GONZALEZ, B. **Diseño y Análisis de Experimentos: Fundamentos y Aplicaciones en Agronomía**. 2. ed. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.

MANDEVILLE, P. B. Tema 28: Diseños experimentales. **UANL Ciencia**, Monterrey, v. 15, n. 57, p. 151-155, 2012.

MARASCHIN, M.; FERRARI, K. F. H.; CARISSIMI, E. Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms. **Separation and Purification Technology**, Oxford, v. 252, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117417>.

MARTINS, D. S.; ESTEVAM, B. R.; PEREZ, I. D.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; ISIQUE, W. D.; BOINA, R. F. Sludge from a water treatment plant as an adsorbent of endocrine disruptors. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. Amsterdam, v. 10, n. 4, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108090>.

MAZARI, L.; ABDESSEMED, D.; SZYMCZYK, A. Evaluating reuse of alum sludge as coagulant for tertiary wastewater treatment. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 144, n. 12, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001462](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001462).

MONTALVAN, E. L. **Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo da Estação de Tratamento de Água Cubatão**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.3.2016.tde-02122016-091816>.

MORA LEÓN, A. G. **Evaluación del uso de lodo de un proceso de potabilización convencional, en el mejoramiento de la sedimentación primaria en aguas residuales municipales**. 2022. Dissertação (Maestría en Ingeniería Ambiental) - Facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2022. Disponível em: [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/28895/1/MoraAna\\_2022\\_Evaluaci%c3%b3nLodoSedimentaci%c3%b3n.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/28895/1/MoraAna_2022_Evaluaci%c3%b3nLodoSedimentaci%c3%b3n.pdf). Acesso em: 27 dez. 2023.

MORENO FRANCO, Y. C. **Alternativa de manejo de lodos de clarificación de agua potable mediante la técnica de deshidratación en filtro banda en una industria cervecera**. 2005. Trabajo de Finalización del Curso (Licenciatura en Ingeniería Ambiental y Sanitaria) - Universidad la Salle, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá, 2005. Disponível em: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1780](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1780). Acesso em: 27 dez. 2023.

NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. Coagulant recovery from water treatment plant sludge and reuse in post-treatment of UASB reactor effluent treating municipal wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 21, p. 10407-10418, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2900-1>.

NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. Influence of sludge characteristics on coagulant recovery from water treatment sludge: a preliminary study. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Tokyo, v. 19, p. 1228-1234, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0513-0>.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. **NTC –ISO 5667-1**: Gestión ambiental: Calidad del agua: Muestreo: Directrices para el diseño de programas de muestreo. Santa Fé de Bogotá: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (INCONTEC), 1995.

ODIMEGWU, T. C.; ZAKARIA, I.; ABOOD, M. M.; NKETSIAH, C. B. K.; AHMAD, M. Review on different beneficial ways of applying alum sludge in a sustainable disposal manner. **Civil Engineering Journal**, Tehran, v. 4, n. 9, p. 2230-2241, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.28991/cej-03091153>.

OWEN, P. G. Water-Treatment Works' Sludge Management. **Water and Environment Journal**, West Sussex, v. 16, n. 4, p. 282-285, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2002.tb00417.x>.

ESPAÑA. Parlamento Europeo. **Economía circular: definición, importancia y beneficios**. Madrid: Parlamento Europeo, 2023. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>. Acesso em: 15 out. 2024.

PERSSON, A. The Coriolis Effect: Four centuries of conflict between common sense and mathematics, Part I: A history to 1885. **History of Meteorology**, Ontario, v. 2, p. 1-24, 2005. Disponível em: <https://www.journal.meteohistory.org/index.php/hom/article/view/30>. Acesso em: 7 jan. 2023.

PRAKASH, P.; SENGUPTA, A. K. Selective coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process. **Environmental science & technology**, Washington, DC, v. 37, n. 19, p. 4468-4474, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1021/es030371q>.

RAMADAN, H.; AFIFY, H.; ABDELAZIZ, A. E. Post treatment of wastewater using recovered alum from water treatment sludge. **Algae**, Daejeon, p. 203-217, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Hassan-Ramadan-5/amp>. Acesso em: 12 out. 2023

RAMADAN, H.; EL SAYED, A. E. Optimization of alum recovery from water treatment sludge-case study: Samannoud water treatment plant, Egypt. **Water and Environment Journal**, West Sussex, v. 34, n. 3, p. 464-473, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/wej.12481>.

QUIMPAC S.A. DE COLOMBIA. **Hoja de seguridad Policloruro de Aluminio (PAC) Hidroxicloruro de Aluminio (ACH)**. Palmira: Quimpac, 2012. Disponível em: <https://www.quimpac.com.co/pdfs/SHa-001-1.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2024.

RAMADAN, H.; EL SAYED, A. E. A. Optimization of alum recovery from water treatment sludge-case study: Samannoud water treatment plant, Egypt. **Water and Environment Journal**, West Sussex, v. 34, n. 3, p. 464-473, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/wej.12481>.

REBOSURA JR, M.; SALEHIN, S.; PIKAAR, I.; KULANDAIVELU, J.; JIANG, G.; KELLER, J.; YUAN, Z. Effects of in-sewer dosing of iron-rich drinking water sludge on wastewater collection and treatment systems. **Water research**, Oxford, v. 171, 115396. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115396>.

REN, B.; LYCZKO, N.; ZHAO, Y.; NZIHO, A. Integrating alum sludge with waste-activated sludge in co-conditioning and dewatering: a case study of a city in south France. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 27, p. 14863-14871, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08056-0>.

RIBEIRO, F. L. D. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito-MG**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2862>. Acesso em: 7 jan. 2023.

RIZO-GÓMEZ, A. **Instalación y puesta en marcha de filtro prensa para el tratamiento de lodos en la Empresa Quebrador Ochomogo LTDA.** 2015. Trabajo de Finalización del Curso (Licenciatura en Mantenimiento Industrial) - Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Electromecánica, Cartago, 2015. Disponible em: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6121>. Acceso em: 7 jan. 2023.

ROMERO-ROJAS, J. A. Potabilización del agua. Bogotá: Alfaomega. 1999.

ROMERO-ROJAS, J. A. Purificación del Agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2002.

RUZIQNA, D. P.; SUWARTHA, N.; MOERSIDIK, S. S.; ADITYOSULINDRO, S. Aluminium Recovery from Water Treatment Sludge as Coagulant by Acidification. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Bristol, v. 448, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012045>.

SCALIZE, P. S.; SOUZA, L. M.; ALBUQUERQUE, A. Reuse of alum sludge for reducing flocculant addition in water treatment plants. **Environment Protection Engineering**, Wroclaw, v. 45, n. 1, p. 57-70, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5277/epe190105>.

SHAKYA, A. K.; BHANDE, R.; GHOSH, P. K. A practical approach on reuse of drinking water treatment plant residuals for fluoride removal. **Environmental Technology**, Oxfordshire, v. 41, n. 22, p. 2907-2919, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1588383>.

SHANMUGAM, S. Granulation techniques and technologies: recent progresses. **BiolImpacts**, Tabriz, v. 5, n. 1, p. 55, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15171/bi.2015.04>.

SHEN, C.; ZHAO, Y.; LI, W.; YANG, Y.; LIU, R.; MORGEN, D. Global profile of heavy metals and semimetals adsorption using drinking water treatment residual. **Chemical Engineering Journal**, v. 372, p. 1019-1027, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.219>.

SHAWAL, N. B. M.; RAZALI, N. A.; HAIROM, N. H. H.; YATIM, N. I. I.; RASIT, N.; HARUN, M. H. C.; HAMZAH, S. Parametric study of coagulant recovery from water treatment sludge towards water circular economy. **Water Science & Technology**, London, v. 88, n. 12, p. 3142-3150, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2023.398>. SHIVA SHANKAR, Y.; ANKUR, K.; BHUSHAN, P.; MOHAN, D. Utilization of water treatment plant (WTP) sludge for pretreatment of dye wastewater using coagulation/flocculation. *In: Advances in Waste Management: Select Proceedings of Recycle 2016*. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 107-121. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0215-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0215-2_8).

SKOOG, D. A., HOLLER, F. J., NIEMAN, T. A. **Principios de análisis instrumental**. 5. ed. Madrid: McGraw-Hill, 2001. p. 614-633.

SNOEYINK, V. L.; SCHOCK, M. R.; SARIN, P.; WANG, L.; CHEN, A. S. C.; HARMON, S. M. (2003). Aluminium-containing scales in water distribution systems: Prevalence and composition. **Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua**, London, v. 52, n. 7, 2003. Disponível em: <https://iwaponline.com/aqua/article/52/7/455/30677/Aluminium-containing-scales-in-water-distribution>. Acesso em: 14 ago. 2023.

SUTHERLAND, W. J. **Ecological census techniques: a handbook**. 2. ed. London: Cambridge University Press, 2006.

COLOMBIA. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. **Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado**. Bogotá: Superservicios, 2020. Disponível em: [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inlinefiles/informe\\_sectorial\\_aa\\_30-12-21\\_vf%20%281%29.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inlinefiles/informe_sectorial_aa_30-12-21_vf%20%281%29.pdf). Acesso em: 15 oct. 2024

TABARES, C. A. **Estudio para determinar la frecuencia de descarga de lodos de los sedimentadores de la planta de tratamiento de agua potable de Centenario de Empopasto SA ESP, en la ciudad de San Juan de Pasto, Colombia**. 2020. Tesis de maestría. Universidad Europea del Atlántico, 2020.

TITSHALL, L. W.; HUGHES, J. C. Characterisation of some South African water treatment residues and implications for land application. **Water Sa**, Pretoria, v. 31, n. 3, p. 299-308, 2005. DOI: <https://doi.org/10.4314/wsa.v31i3.5219>.

THEODORSSON-NORHEIM, E. Kruskal-Wallis test: BASIC computer program to perform nonparametric one-way analysis of variance and multiple comparisons on ranks of several independent samples. **Computer methods and programs in biomedicine**, Shannon, v. 23, n. 1, p. 57-62, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-2607\(86\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0169-2607(86)90081-7).

TOBIASON, J. E.; EDZWALD, J. K.; LEVESQUE, B. R.; KAMINSKI, G. K.; DUNN, H. J.; GALANT, P. B. Full-Scale Assessment of waste filter backwash recycle. **Journal-American Water Works Association**, Oxford, v. 95, n. 7, p. 80-93, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2003.tb10410.x>.

TONY, M. A.; ZHAO, Y. Q.; FU, J. F.; TAYEB, A. M. Conditioning of aluminium-based water treatment sludge with Fenton's reagent: effectiveness and optimising study to improve dewaterability. **Chemosphere**, Oxford, v. 72, n. 4, p. 673-677, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.032>.

TONY, M. A. Central composite design optimization of Bismarck Dye oxidation from textile effluent with Fenton's reagent. **Applied Water Science**, Heidelberg, v. 10, n. 5, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01192-5>.

TONY, M. A. Valorization of undervalued aluminum-based waterworks sludge waste for the science of "The 5 Rs' criteria". **Applied Water Science**, Heidelberg, v. 12, n. 2, p. 20, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01554-7>.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA ABES, 21., 2001, João Pessoa. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

TURNER, T.; WHEELER, R.; STONE, A.; OLIVER, I. Potential alternative reuse pathways for water treatment residuals: Remaining barriers and questions - **A review**. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 230, n. 9, p. 227, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4272-0>.

URBAN, R. C.; ISAAC, R. L.; MORITA, D. M. Beneficial use of sludge from water and sewage treatment plants: State of the art. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. **Revista DAE**, São Paulo, v. 67, n.219, p. 128-158. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.050>.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 1623.1**: Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtration/IMS/FA. Washington, D.C.: EPA, 2012.

VALENCIA, J. A.; SOTO, A. R. **Teoría y práctica de la purificación del agua**. Bogotá: McGraw-Hill, 2000. p. 793.

VALENCIA, J. A. **Teoría de la coagulación del agua. Teoría y práctica de la Purificación del agua**. Bogotá: ed. Acodal. 1992. Disponível em: <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/teoria.pdf>. Acesso em: 24 oct. 2024.

VARGAS, L. de (coord.). **Tratamiento de agua para consumo humano**. Lima: CEPIS/OPS, 2006. Disponível em: [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf). Acesso em: 18 nov. 2024.

VAZ, L. G. D. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. D.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, Araraquara, v. 35, p. 45-54, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006>.

VILLEGAS, J. D.; CASTAÑO, J. M.; CUERVO, D. P. Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en Plantas de potabilización de agua. **Scientia et technica**, Pereira, v. 2, n. 28, 2005. Disponível em: <https://moodle2.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6847>. Acesso em: 12 jan. 2023.

VILELA, R. L. T. **Avaliação do desempenho de coagulantes recuperados de lodo de ETA por extração via alcalina-ácida**. 2020. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/7afd6490-d53f-4f38-aa84-753e9250e7fd>. Acesso em: 1 jun 2024.

VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. London: IWA Publishing, 2007.

WAGNER, L. F. **Avaliação do lançamento de lodo de ETA actiflo em ETE com reator anaeróbio no município de Ponta Grossa–PR**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, Ponta Grossa, 2015. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/23>. Acesso em: 15 jan. 2024

WANG, L.; ZOU, F.; FANG, X.; TSANG, D. C.; POON, C. S.; LENG, Z.; BAEK, K. A novel type of controlled low strength material derived from alum sludge and green materials. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 165, p. 792-800, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.078>.

WANG, Y.; REN, B.; ZHAO, Y.; ENGLISH, A.; CANNON, M. A comparison of alum sludge with peat for aqueous glyphosate removal for maximizing their value for practical use. **Water Science and Technology**, London, v. 2017, n. 2, p. 450-456, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.165>.

WU, H.; ZHU, Y.; BIAN, S.; KO, J. H.; LI, S. F. Y.; XU, Q. H<sub>2</sub>S adsorption by municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash with heavy metals immobilization. **Chemosphere**, Oxford, v. 195, p. 40-47, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.068>.

XU, G. R.; YAN, Z. C.; WANG, Y. C.; WANG, N. Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 161, n. 2-3, p. 663-669, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.008>.

XU, Y.; CHEN, T.; XU, R.; HE, L.; CUI, F. Impact of recycling alum sludge on coagulation of low-turbidity source waters. **Desalination and Water Treatment**, New York, v. 57, n. 15, p. 6732-6739, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1013504>.

YANG, L.; HAN, Y. X.; WANG, D. T. High efficiency aluminum coagulant recovery from drinking water treatment plant sludge by using ultrasound assisted acidification. **Advanced Materials Research**, Baech, v. 777, n. 60-64, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.777.60>.

YANG, Y.; ZHAO, Y.; TANG, C.; MAO, Y.; CHEN, T.; HU, Y. Novel pyrrhotite and alum sludge as substrates in a two-tiered constructed wetland-microbial fuel cell. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 293, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126087>.

ZHAO, Y. Q.; BABATUNDE, A. O.; HU, Y. S.; KUMAR, J. L. G.; ZHAO, X. H. Pilot field-scale demonstration of a novel alum sludge-based constructed wetland system for enhanced wastewater treatment. **Process Biochemistry**, London, v. 46, n. 1, p. 278-283, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.08.023>.

ZHAO, X. H.; ZHAO, Y. Q.; KEARNEY, P. Phosphorus recovery as AIPO 4 from beneficially reused aluminium sludge arising from water treatment. **Environmental technology**, Oxfordshire, v. 34, n. 2, p. 263-268, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.692714>.

ZHAO, X.; LUO, H.; TAO, T.; ZHAO, Y. Immobilization of arsenic in aqueous solution by waterworks alum sludge: prospects in China. **International Journal of Environmental Studies**, Oxon, v. 72, n. 6, p. 989-1001, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2015.1071522>.

ZHAO, Y.; REN, B.; O'BRIEN, A.; O'TOOLE, S. Using alum sludge for clay brick: an Irish investigation. **International Journal of Environmental Studies**, Oxon, v. 73, n. 5, p. 719-730, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2016.1160651>.


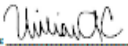
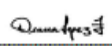
ZHAO, Y.; LIU, R.; AWE, O. W.; YANG, Y.; SHEN, C. Acceptability of land application of alum-based water treatment residuals—an explicit and comprehensive review. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 353, p. 717-726, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.07.143>.

ZHAO, Y.; NZIHO, A.; REN, B.; LYCZKO, N.; SHEN, C.; KANG, C.; JI, B. Waterworks sludge: an underrated material for beneficial reuse in water and environmental engineering. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 12, p. 4239-4251, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01232-w>.

ZHAO, W., XIE, H., LI, J., ZHANG, L., ZHAO, Y. Application of alum sludge in wastewater treatment processes: “science” of reuse and reclamation pathways. **Processes**, Basileia, v. 9, n. 4, p. 612, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9040612>.

ANEXOS

8.1. RESULTADOS DO LABORATÓRIO DA ÁGUA EMPOPASTO


		EMPOPASTO S.A.E.S.P. NIT 09128086-3											
		Nombre del documento: INFORME DE ENSAYO AGUA CRUDA Y RESIDUAL											
LABORATORIO DE AGUAS			Código LA-F-08		Fecha de aprobación 2021/02/1			Versión 4		Página 1 de 1			
LABORATORIO DE AGUAS - EMPOPASTO Planta Centenario - Antigua Salda al Norte, P.O.B. +57 (2) 7215614 EXT. 11 Pasto - Colombia													
FECHA EMISIÓN INFORME:			2024/01/03			CÓDIGO DEL INFORME:			8433				
CLIENTE:			EMPOPASTO S.A.E.S.P.			DEPARTAMENTO:			NARIÑO				
MUNICIPIO:			PASTO			DIRECCIÓN:			N.R.				
TOMA DE MUESTRA A CARGO DE:			EMPOPASTO S.A.E.S.P.			MUESTRA TOMADA POR:			CRISTIAN DANLO VARGAS VELEZ				
TOMA DE MUESTRA		RECEPCIÓN DE LA MUESTRA				MATRIZ ANALIZADA		TIPO DE MUESTRA	CÓDIGO MUESTRA		LUGAR TOMA DE MUESTRA		
HORA	FECHA	HORA	FECHA										
15:50	2023/11/14	16:30	2023/11/14			Muestra Lodos	Simple	MUESTRA LODOS		PLANTA CENTENARIO			
DESCRIPCIÓN PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS								RESULTADO					
ENSAYO	FECHA DE ANÁLISIS	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	± INCERTIDUMBRE	CÓDIGO DE LA MUESTRA					
								MUESTRA LODOS	---	---	---	---	---
ALUMINIO RESIDUAL	2023/11/14	Colorimétrica	Fotométrica	mg A/L	---	---	---	5,07	---	---	---	---	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	2023/11/15	Inoculación 5 días Electrométrica	DBO (5 días) SM 5210 B- SM 4200-O H	mg O <sub>2</sub> /L	---	---	---	18,0	---	---	---	---	---
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	2023/11/14	Reflejo cerrado Colorimétrico	SM 5220 D	mg O <sub>2</sub> /L	---	---	---	496,2	-1	---	---	---	---
pH	2023/11/14	Electrométrica	SM 4500-11+B	Unidades de pH	---	---	---	7,18	---	---	---	---	---
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	2023/11/14	Electrométrica	SM 2510 B	mg SÓL/L	---	---	---	44,0	---	---	---	---	---
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2023/11/15	Cono Imhoff	SM 2540 F	ml SÓL/dL	---	---	---	370,0	---	---	---	---	---
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2023/11/09	Gravimétrica Secado 102°C-105°C	SM 2540 D	mg SÓL/L	---	---	---	686,7	---	---	---	---	---
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES VOLÁTILES	2023/11/09	Gravimétrica	SM 2540 D	mg SÓL/VL	---	---	---	83,3	---	---	---	---	---
OBSERVACIONES													
ND: No detectable. LMD: Límite de Detección del Método. LCM: Límite de Cuantificación del Método. Referencia (SM): Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales. Edición 23 2017. Los resultados son aplicables únicamente para las muestras analizadas.													
Firma autorizada:  Nombre: VIVIAN ARTURO CANAL Cargo: COORDINADORA DE CONTROL DE CALIDAD						Firma autorizada:  Nombre: DIANA ANGÉLICA LÓPEZ ZARAMA Química TP-PQ-3787							
El presente informe es propiedad exclusiva del Laboratorio de Aguas de EMPOPASTO S.A. E.S.P.; por lo tanto, no se puede reproducir en forma parcial, solamente en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio que lo emite.													
FIN DEL DOCUMENTO													


Activ  
Ve a C


8.3. RESULTADOS DE MEDIÇÕES IN SITU


EMPAPASTO		EMPAPASTO S.A. E.S.P. 891200686-3									
Nombre del documento:		TOMA DE MUESTRA SIMPLE E INTEGRADA									
LABORATORIO DE AGUAS		Código LA-F-108		Fecha de aprobación 2024/04/23		Versión 2		Página 1 de 1			
FECHA TOMA DE MUESTRA		AÑO		MES		DÍA		VEREDA/CORREGIMIENTO			
Plan de muestreo No:		2024		3		118		Municipio/Ciudad Vereda/Corregimiento			
Lugar de muestreo:		Son Juan de Pasto									
Objetivo de muestreo:		Toma de muestra para colaboración en trabajo de grado de maestría									
PUNTO DE MUESTREO		Residue de sedimentados.									
REGISTRO DE DATOS IN SITU		TEMPERATURA AGUA (°C)		16,2		DUPLICADO		RPD %		N/A	
pH (Unidad de pH)		7,13		DUPLICADO		RPD %		---		MATRIZ	
TIPO DE MUESTRA		Simple		Integrada		Tratada (AT)		Cruda (AC)		Residual doméstica (ARD)	
FECHA DE RECOLECCIÓN (aaaa/mm/dd)		2024/03/18		OXIGENO DISUELTUO - OD (mg/L)		6,1		DUPLICADO		RPD %	
HORA (hh:mm)		10:00		CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µs/cm)		88,5		DUPLICADO		RPD %	
OBSERVACIONES:		CONDICIONES AMBIENTALES Soleado.									
PUNTO DE MUESTREO		Cokepor Juan XXI									
REGISTRO DE DATOS IN SITU		TEMPERATURA AGUA (°C)		15,4		DUPLICADO		RPD %		N/A	
pH (Unidad de pH)		9,11		DUPLICADO		RPD %		---		MATRIZ	
TIPO DE MUESTRA		Simple		Integrada		Tratada (AT)		Cruda (AC)		Residual doméstica (ARD)	
FECHA DE RECOLECCIÓN (aaaa/mm/dd)		2024/03/22		OXIGENO DISUELTUO - OD (mg/L)		2,76		DUPLICADO		RPD %	
HORA (hh:mm)		13:30		CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µs/cm)		843		DUPLICADO		RPD %	
OBSERVACIONES:		CONDICIONES AMBIENTALES Soleado.									
PUNTO DE MUESTREO		Candela Parkhal PIMP Cantaguro									
REGISTRO DE DATOS IN SITU		TEMPERATURA AGUA (°C)		13,1		DUPLICADO		RPD %		N/A	
pH (Unidad de pH)		7,8		DUPLICADO		RPD %		---		MATRIZ	
TIPO DE MUESTRA		Simple		Integrada		Tratada (AT)		Cruda (AC)		Residual doméstica (ARD)	
FECHA DE RECOLECCIÓN (aaaa/mm/dd)		2024/03/24		OXIGENO DISUELTUO - OD (mg/L)		7,03		DUPLICADO		RPD %	
HORA (hh:mm)		11:10		CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µs/cm)		74		DUPLICADO		RPD %	
OBSERVACIONES:		CONDICIONES AMBIENTALES Nublado.									
PUNTO DE MUESTREO											
REGISTRO DE DATOS IN SITU		TEMPERATURA AGUA (°C)				DUPLICADO		RPD %		N/A	
pH (Unidad de pH)				DUPLICADO		RPD %		---		MATRIZ	
TIPO DE MUESTRA		Simple		Integrada		Tratada (AT)		Cruda (AC)		Residual doméstica (ARD)	
FECHA DE RECOLECCIÓN (aaaa/mm/dd)				OXIGENO DISUELTUO - OD (mg/L)				DUPLICADO		RPD %	
HORA (hh:mm)				CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µs/cm)				DUPLICADO		RPD %	
OBSERVACIONES:		Estos muestreos son tomados con fines académicos en apoyo al proceso de maestría.									
Fórmula para cálculo de RPD %		$RPD\% = \frac{2 \times  x - y }{x + y} \times 100$		Criterios de aceptación % RPD:		OXIGENO DISUELTUO 15%		CONDUCTIVIDAD 5%		pH 5%	
MATERIALES Y EQUIPOS		MULTIPARAMETRO (X) HI-9143-3 Sonda pH (E) HI-9143-3 Sonda OD (HI-9143-3) Sonda Conductividad (HI-9143-3) Termómetro ( ) GPS ( )									
TÉCNICO DE MUESTREO:		Cristhon Vargas		FIRMA DEL CLIENTE O SOLICITANTE:				REVISADO POR:			


8.3. RESULTADOS ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA), LABORATORIO ESPECIALIZADO DA UNIVERSIDADE DE NARIÑO.


 <p>Universidad de Nariño FUNDADA EN 1994</p>		<p>SECCION DE LABORATORIOS LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</p>				<p>Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 vigente a partir de 2022-03-10</p>	
<p>"Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022": Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).</p>							
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-A-2024	
AREA:							
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS			
Solicitante:		CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:		AGUA CRUDA	
Dirección:		CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:		SIMPLE	
Teléfono:		3156043791		Sitio de Toma:		PASTO, NARIÑO	
nit:		1.098.311.163		Responsable del Muestreo:		EXTERNO: CRISTIAN VARGAS	
e-mail:		cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:		2024-04-02	
Cotización No:		LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:		2024-04-02	
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL			
Código Muestra LAQ-037-2024		Descripción					
		TA1					
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS	
			LAQ-037-2024				
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	810,5	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00	


 <p>Universidad de Nariño FUNDADA EN 1994</p>		<p>SECCION DE LABORATORIOS LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</p>				<p>Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 vigente a partir de 2022-03-10</p>	
<p>Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022": Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).</p>							
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-B-2024	
AREA:							
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS			
Solicitante:		CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:		AGUA CRUDA	
Dirección:		CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:		SIMPLE	
Teléfono:		3156043791		Sitio de Toma:		PASTO, NARIÑO	
nit:		1.098.311.163		Responsable del Muestreo:		EXTERNO: CRISTIAN VARGAS	
e-mail:		cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:		2024-04-02	
Cotización No:		LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:		2024-04-02	
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL			
Código Muestra LAQ-038-2024		Descripción					
		TA2					
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS	
			LAQ-038-2024				
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	566	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00	


 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>						Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veiente a par ar 2022-03-10	
	Laboratorio Acreditado por el IBC-PA para los parámetros: Aluminio, Conductividad a 25 °C, Nitratos, Sulfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022": Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).							
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-C-2024		
AREA:								
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS				
Solicitante:		CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:		AGUA CRUDA		
Dirección:		CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:		SIMPLE		
Teléfono:		3156043791		Sitio de Toma:		PASTO, NARIÑO		
nit:		1.098.311.163		Responsable del Muestreo:		EXTERNO: CRISTIAN VARGAS		
e-mail:		cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:		2024-04-02		
Cotización No:		LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:		2024-04-02		
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL				
Código Muestra LAQ-039-2024		Descripción						
		TA3						
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-039-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS		
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO, A.A	800,5	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00		


 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>						Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veiente a par ar 2022-03-10	
	Laboratorio Acreditado por el IBC-PA para los parámetros: Aluminio, Conductividad a 25 °C, Nitratos, Sulfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022": Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).							
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-D-2024		
AREA:								
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS				
Solicitante:		CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:		AGUA CRUDA		
Dirección:		CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:		SIMPLE		
Teléfono:		3156043791		Sitio de Toma:		PASTO, NARIÑO		
nit:		1.098.311.163		Responsable del Muestreo:		EXTERNO: CRISTIAN VARGAS		
e-mail:		cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:		2024-04-02		
Cotización No:		LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:		2024-04-02		
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL				
Código Muestra LAQ-040-2024		Descripción						
		TA4						
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-040-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS		
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO, A.A	633,5	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00		


 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>				Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veinte a partir de 2022-03-10	
	Laboratorio Acreditado por el IDCEM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25 °C, Nitritos, Fosfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).					
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-E-2024
AREA:						
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS		
Solicitante: CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ Dirección: CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL Teléfono: 3156043791 nit: 1.098.311.163 e-mail: cristianvelez2403@gmail.com Cotización No: LAQ-C-13-2024				Tipo de Muestra: <b>AGUA CRUDA</b> Tipo de Muestreo: SIMPLE Sitio de Toma: PASTO, NARIÑO Responsable del Muestreo: EXTERNO: CRISTIAN VARGAS Fecha de Muestreo: 2024-04-02 Fecha Recepción Muestra en Laboratorio: 2024-04-02		
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL		
Código Muestra LAQ-041-2024		Descripción				
		TB1				
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-041-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	386,5	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00


 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>				Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veinte a partir de 2022-03-10	
	Laboratorio Acreditado por el IDCEM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25 °C, Nitritos, Fosfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).					
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-F-2024
AREA:						
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS		
Solicitante: CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ Dirección: CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL Teléfono: 3156043791 nit: 1.098.311.163 e-mail: cristianvelez2403@gmail.com Cotización No: LAQ-C-13-2024				Tipo de Muestra: <b>AGUA CRUDA</b> Tipo de Muestreo: SIMPLE Sitio de Toma: PASTO, NARIÑO Responsable del Muestreo: EXTERNO: CRISTIAN VARGAS Fecha de Muestreo: 2024-04-02 Fecha Recepción Muestra en Laboratorio: 2024-04-02		
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL		
Código Muestra LAQ-042-2024		Descripción				
		TB2				
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-042-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	295,5	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00


 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1988	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>		Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veiente a par ae 2022-03-10			
	Laboratorio Acreditado por el IBC-PAI para los parámetros: Acidez, Conductividad a 25 °C, Nitratos, Sulfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).					
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:	LAQ-R-021-G-2024	
AREA:						
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS				
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ	Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA			
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL	Tipo de Muestreo:	SIMPLE			
Teléfono:	3156043791	Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO			
nit:	1.098.311.163	Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS			
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2024-04-02			
Cotización No:	LAQ-C-13-2024	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02			
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS		FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL				
Código Muestra LAQ-043-2024		Descripción				
		TB3				
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-043-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	342	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00



 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1988	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>		Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veiente a par ae 2022-03-10			
	Laboratorio Acreditado por el IBC-PAI para los parámetros: Acidez, Conductividad a 25 °C, Nitratos, Sulfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).					
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:	LAQ-R-021-H-2024	
AREA:						
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS				
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ	Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA			
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL	Tipo de Muestreo:	SIMPLE			
Teléfono:	3156043791	Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO			
nit:	1.098.311.163	Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS			
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2024-04-02			
Cotización No:	LAQ-C-13-2024	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02			
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS		FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL				
Código Muestra LAQ-044-2024		Descripción				
		TB4				
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-044-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	294,5	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00



 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>				Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 Veinte a partir de 2022-03-10		
	Laboratorio Acreditado por el IBC-EN para los parámetros: Acidez, Conductividad a 25 °C, Nitratos, Sulfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).						
FECHA EMISIÓN RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-I-2024	
AREA:							
DATOS USUARIO			DATOS MUESTRAS				
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA			
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:	SIMPLE			
Teléfono:	3156043791		Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO			
nit:	1.098.311.163		Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS			
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:	2024-04-02			
Cotización No:	LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02			
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS		FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL					
Código Muestra LAQ-045-2024		Descripción TC1					
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-045-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS	
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	108	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00	

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>				Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 Veinte a partir de 2022-03-10		
	Laboratorio Acreditado por el IBC-EN para los parámetros: Acidez, Conductividad a 25 °C, Nitratos, Sulfatos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).						
FECHA EMISIÓN RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-J-2024	
AREA:							
DATOS USUARIO			DATOS MUESTRAS				
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA			
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:	SIMPLE			
Teléfono:	3156043791		Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO			
nit:	1.098.311.163		Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS			
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:	2024-04-02			
Cotización No:	LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02			
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS		FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL					
Código Muestra LAQ-046-2024		Descripción TC2					
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-046-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS	
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-B	ESPECTROFOTO. A.A	45	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00	


 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1994	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>						Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 vigente a partir de 2022-03-10
	Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).						
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-K-2024	
AREA:							
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS			
Solicitante:		CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:		AGUA CRUDA	
Dirección:		CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:		SIMPLE	
Teléfono:		3156043791		Sitio de Toma:		PASTO, NARIÑO	
nit:		1.098.311.163		Responsable del Muestreo:		EXTERNO: CRISTIAN VARGAS	
e-mail:		cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:		2024-04-02	
Cotización No:		LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:		2024-04-02	
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL			
Código Muestra LAQ-047-2024		Descripción					
		TC3					
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-047-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS	
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-0	ESPECTROFOTO, A.A	71,5	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00	



 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1994	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>						Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 vigente a partir de 2022-03-10
	Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).						
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-L-2024	
AREA:							
DATOS USUARIO				DATOS MUESTRAS			
Solicitante:		CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ		Tipo de Muestra:		AGUA CRUDA	
Dirección:		CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL		Tipo de Muestreo:		SIMPLE	
Teléfono:		3156043791		Sitio de Toma:		PASTO, NARIÑO	
nit:		1.098.311.163		Responsable del Muestreo:		EXTERNO: CRISTIAN VARGAS	
e-mail:		cristianvelez2403@gmail.com		Fecha de Muestreo:		2024-04-02	
Cotización No:		LAQ-C-13-2024		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:		2024-04-02	
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS				FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL			
Código Muestra LAQ-048-2024		Descripción					
		TC4					
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-048-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS	
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-0	ESPECTROFOTO, A.A	102	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00	

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1994	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>		Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 vigente a partir de 2022-03-10			
	Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).				 <small>         Laboratorio Acreditado por el IDEAM Resolución No 1014 de 12 de septiembre de 2019 Resolución No 2792 de 6 de diciembre de 2022       </small>	
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:	LAQ-R-021-M-2024	
AREA:						
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS				
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ	Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA			
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL	Tipo de Muestreo:	SIMPLE			
Teléfono:	3156043791	Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO			
nit:	1.098.311.163	Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS			
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2024-04-02			
Cotización No:	LAQ-C-13-2024	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02			
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS		FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL				
Código Muestra LAQ-049-2024		Descripción				
		TD1				
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-049-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3000A-B	ESPECTROFOTO. A.A	2,18	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1994	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>		Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 vigente a partir de 2022-03-10			
	Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022"; Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).				 <small>         Laboratorio Acreditado por el IDEAM Resolución No 1014 de 12 de septiembre de 2019 Resolución No 2792 de 6 de diciembre de 2022       </small>	
FECHA EMISION RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:	LAQ-R-021-N-2024	
AREA:						
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS				
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ	Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA			
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL	Tipo de Muestreo:	SIMPLE			
Teléfono:	3156043791	Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO			
nit:	1.098.311.163	Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS			
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com	Fecha de Muestreo:	2024-04-02			
Cotización No:	LAQ-C-13-2024	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02			
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS		FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL				
Código Muestra LAQ-050-2024		Descripción				
		TD2				
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-050-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3000A-B	ESPECTROFOTO. A.A	6,32	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>				Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veinte a partir de 2022-08-10	
	Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022": Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).					
FECHA EMISIÓN RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-O-2024
AREA:						
DATOS USUARIO			DATOS MUESTRAS			
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ			Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA	
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL			Tipo de Muestreo:	SIMPLE	
Teléfono:	3156043791			Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO	
nit:	1.098.311.163			Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS	
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com			Fecha de Muestreo:	2024-04-02	
Cotización No:	LAQ-C-13-2024			Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02	
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS			FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL			
Código Muestra LAQ-051-2024			Descripción			
			TD3			
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-051-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 35004-B	ESPECTROFOTO. A.A	10,19	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>				Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veinte a partir de 2022-08-10	
	Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros: Alcalinidad, Conductividad a 25°C, Nitritos, Sulfatos, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022": Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).					
FECHA EMISIÓN RESULTADOS:		2024-04-24		INFORME No:		LAQ-R-021-P-2024
AREA:						
DATOS USUARIO			DATOS MUESTRAS			
Solicitante:	CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ			Tipo de Muestra:	AGUA CRUDA	
Dirección:	CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL			Tipo de Muestreo:	SIMPLE	
Teléfono:	3156043791			Sitio de Toma:	PASTO, NARIÑO	
nit:	1.098.311.163			Responsable del Muestreo:	EXTERNO: CRISTIAN VARGAS	
e-mail:	cristianvelez2403@gmail.com			Fecha de Muestreo:	2024-04-02	
Cotización No:	LAQ-C-13-2024			Fecha Recepción Muestra en Laboratorio:	2024-04-02	
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS			FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL			
Código Muestra LAQ-052-2024			Descripción			
			TD4			
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-052-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS
ALUMINIO	SM EDICION No 23 35004-B	ESPECTROFOTO. A.A	95	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1984	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y AGUAS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MUESTRAS AMBIENTALES</b>	Código: LBE- Página: 1 de 1 Versión: 05 veinte a partir de 2022-03-10					
Laboratorio Acreditado por el IBCRA para los parámetros: Acidez, Conductividad a 25 °C, Nitritos, Nitratos, Cloruros, ACEITES, SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, Toma de muestra simple o puntual: pH (SM 4500-H+B), según Resolución No 1014 del 12 de septiembre de 2019 Resolución N° 2792 de 6 de diciembre de 2022": Fósforo total, Fosfatos, Turbiedad, Cloruro, Dureza Total, Dureza Calcio, Toma de muestra simple o puntual: Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM 2021. Variables medidas en campo: Sólidos sedimentables (SM 2540 F), Oxígeno disuelto (SM 4500 O-C), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad eléctrica (SM 2510 B), Caudal (Volumétrico).		 IDEAM <small>Laboratorio Acreditado por el IBCRA Resolución No 1014 de 12 de septiembre de 2019, Resolución No 2792 de 6 de diciembre de 2022</small>					
FECHA EMISIÓN RESULTADOS: <b>2024-04-24</b>		INFORME No: <b>LAQ-R-021-Q-2024</b>					
AREA:							
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRAS					
Solicitante: <b>CRISTIAN DANILO VARGAS VELEZ</b>	Tipo de Muestra: <b>AGUA CRUDA</b>						
Dirección: <b>CRA 41 N 12A-63 VILLA SAN RAFAEL</b>	Tipo de Muestreo: <b>SIMPLE</b>						
Teléfono: <b>3156043791</b>	Sitio de Toma: <b>PASTO, NARIÑO</b>						
nit: <b>1.098.311.163</b>	Responsable del Muestreo: <b>EXTERNO: CRISTIAN VARGAS</b>						
e-mail: <b>cristianvelez2403@gmail.com</b>	Fecha de Muestreo: <b>2024-04-02</b>						
Cotización No: <b>LAQ-C-13-2024</b>	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio: <b>2024-04-02</b>						
TIPO DE ANALIS SOLICITADOS		FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO PARCIAL					
Código Muestra <b>LAQ-053-2024</b>		Descripción					
		BLANCO					
PARAMETRO	METODO	TECNICA	CODIGO MUESTRA LAQ-053-2024	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE ANALISIS	HORA DE ANALISIS	
ALUMINIO	SM EDICION No 23 3500A-0	ESPECTROFOTO, A.A	1,46	mg Al / L	2024-04-16	3:00:00	

## 8.4. RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

### 8.4.1. MÉTODO DE RECUPERAÇÃO ÁCIDO

Fator pH

---

Shapiro-Wilk normality test

data: dados\$ALUMINIO  
W = 0.86113, p-value = 0.01995

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: dados\$ALUMINIO by dados\$ph\_1  
Fligner-Killeen:med chi-squared = 8.7157, df = 3, p-value = 0.03332

Kruskal-Wallis rank sum test

data: dados\$ALUMINIO by dados\$ph\_1  
Kruskal-Wallis chi-squared = 13.5, df = 3, p-value = 0.003671

Fator velocidade de mistura

Shapiro-Wilk normality test

data: datos\$ALUMINIO  
 W = 0.86113, p-value = 0.01995

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: datos\$ALUMINIO by datos\$VELOCIDAD  
 Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.7853, df = 3, p-value = 0.4259

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
datos\$VELOCIDAD	1	691	691	0.008	0.929
Residuals	14	1192624	85187		

|

## 8.4.2 REMOÇÃO DE COR NO ESGOTO

---

Shapiro-Wilk normality test

data: dados\$Porcentagem.de.remoção  
W = 0.83404, p-value = 8.426e-06

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: dados\$Porcentagem.de.remoção by dados\_1\$Tratamento  
Fligner-Killeen:med chi-squared = 43.499, df = 3, p-value = 1.928e-09

Kruskal-Wallis rank sum test

data: dados\$Porcentagem.de.remoção by dados\_1\$Tratamento

Kruskal-Wallis chi-squared = 30.5091, df = 3, p-value = 1.321e-06

|

### 8.4.3. REMOÇÃO DE TURBIDEZ NO ESGOTO

Shapiro-Wilk normality test

```
data:  dados$Porcentagem.de.remoção  
W = 0.84245, p-value = 1.379e-05
```

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

```
data:  dados$Porcentagem.de.remoção by dados_1$Tratamento  
Fligner-Killeen:med chi-squared = 26.579, df = 3, p-value = 7.214e-06
```

Kruskal-Wallis rank sum test

```
data:  dados$Porcentagem.de.remoção by dados_1$Tratamento  
  
Kruskal-Wallis chi-squared = 34.247, df = 3, p-value = 1.757e-07  
|
```

#### 8.4.4. REMOÇÃO DE COR NA ÁGUA BRUTA

---

Shapiro-Wilk normality test

data: dados\$Porcentagem.de.remoção  
W = 0.91559, p-value = 0.002086

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: dados\$Porcentagem.de.remoção by dados\_1\$Tratamento  
Fligner-Killeen:med chi-squared = 33.176, df = 3, p-value = 2.957e-07

Kruskal-Wallis rank sum test

data: dados\$Porcentagem.de.remoção by dados\_1\$Tratamento

Kruskal-Wallis chi-squared = 32.749, df = 3, p-value = 3.638e-07

|

#### 8.4.5. REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM ÁGUA BRUTA

Shapiro-Wilk normality test

```
data:  dados$Porcentagem.de.remoção  
W = 0.91659, p-value = 0.002258
```

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances


```
data:  dados$Porcentagem.de.remoção by dados_1$Tratamento  
Fligner-Killeen:med chi-squared = 22.532, df = 3, p-value = 5.055e-05
```

Kruskal-Wallis rank sum test

```
data:  dados$Porcentagem.de.remoção by dados_1$Tratamento  
Kruskal-Wallis chi-squared = 23.247, df = 3, p-value = 3.587e-05
```

### 8.4.6. DADOS DO SISTEMA DIÁRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA EMPOPASTO

NOME DEL FORMATO:		EMPAPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.886-3																									
		CONTROL DIARIO DE CALIDAD DE AGUA EN PLANTA - CENTENARIO PROCESO: PRODUCCION																		CODIGO PC-F154		VERSION 3		VICENCIA 10-98-21			
FECHA:		2024																									
18		MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE							
HORA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PROM	
Color UPC	C Aparente	77	73	69	72	68	66	70	75	81	88	102	90	83	80	77	75	72	73	77	76	78	81	83	83	78,0	83
	C Verdadero	39	37	35	38	36	34	30	31	37	32	24	29	36	39	35	33	30	31	34	33	33	34	36	37	34,0	37
Conductividad		81	79	80	78	76	75	73	74	75	74	75	77	77	80	83	81	79	79	74	78	80	83	80	81	77,8	81
pH		7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,8	7,7	7,8	7,7	7,8	7,7	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Temperatura (°C)		13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13,5	13
Alcalinidad total mg/L CaCO3		26	26	26	26	26	26	25	26	25	25	26	26	26	27	27	28	28	29	29	29	29	29	29	29	27,0	29
Turbiedad NTU		3,5	3,3	3,7	3,4	3,8	3,6	3,1	3	2,8	3,2	4,3	3,2	3,5	4,3	4,1	3,7	3,5	3,7	3,9	3,6	3,4	3,7	3,9	4,1	3,8	4,1
Obr		Inchubario Presentes																									
Sustancias Residuales		Inchubario Presentes																									
CONVENIONAL	C Aparente UPC	11	10	10	12	12	12	13	13	16	16	17	17	17	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	13,8	17
	Turbiedad NTU	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,03	1,4
	C Aparente UPC	10	11	11	10	10	14	14	18	18	18	20	20	20	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14,2	18
FRACAS	Turbiedad NTU	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	1,2	1,2	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,11	1,3
	C Aparente UPC	6	5	5	8	8	7	7	6	6	6	6	6	6	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6,5	6
	pH	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2	7,2	7,7	7,7	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,21	7,2
AGUA TRADADA TANQUE ZONA MEDIA	Temperatura (°C)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13,2	13
	Alcalinidad total mg/L CaCO3	17	18	18	17	17	17	18	18	16	16	17	17	17	17	17	18	18	18	18	20	20	20	20	20	18,0	20
	Turbiedad NTU	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,70	0,6
AGUA TRADADA TANQUE ZONA B	Clorinidad mg/L Fuerza Bromada Distribucion	1,6	1,7	1,7	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,47	1,4
	Obr	Aceptable																									
	Sabor	Aceptable																									
ANALISTAS	Nombre:	Miguel Angel Eraso																		Nombre:		Alejandro Muñoz		Nombre:		Wilfredo Velásquez B	
	OBSERVACIONES	Aluminio residual: 0,018 mg/L																									

		EMPOPASTO S.A. E.S.P. NT 891.200.686-3									
		NOMBRE DEL FORMATO: CONTROL DIARIO DE OPERACIONES - CENTENARIO		COORSO PC-FT-01	VERSION 3	VERSIONA 10-ago-21					
PROCESO: PRODUCCIÓN											
DÍA	18	MES	Marzo	AÑO	2024						
HORA	CAUDAL PARSHAL L/s	COAGULANTE		BICARBONATO DE SODIO		CAL		CLORO		LAVADO DE FILTROS	
		ml/min	mg/L	Kg	ml/Seg	Kg		Lb/día	mg/L	FILTRO N.	
1	350	634	40					170	2,55		
2	350	634	40					170	2,55		
3	350	634	40					170	2,55		
4	300	543	40					150	2,63		
5	400	725	40					200	2,63		
6	400	725	40					200	2,63		
7	500	792	35					240	2,52		
8	500	792	35					240	2,52	5A	
9	500	792	35					240	2,52		
10	500	792	35					220	2,31		
11	440	697	35					220	2,63		
12	440	697	35					220	2,63	4A	
13	440	697	35					220	2,63		
14	440	797	40					220	2,63		
15	440	797	40					220	2,63		
16	440	697	35					220	2,63	5A	
17	440	697	35					220	2,63		
18	440	598	30					220	2,63		
19	440	598	30					220	2,63	1	
20	300	408	30					150	2,63		
21	270	367	30					140	2,72		
22	270	367	30					140	2,72		
23	270	367	30					140	2,72		
24	270	367	30					140	2,72		
PROM O SUMA	395	634	35	.....	#DIV/0!	.....		195	2,61	TOTAL FILTROS RAPIDOS	
COAGULANTE CONSUMO TOTAL m3		0,913		BICARBONATO DE SODIO CONSUMO TOTAL (Kg)		0	CAL CONSUMO TOTAL (Kg)	0	CLORO CONSUMO TOTAL (Kg)	88,6	TOTAL FILTROS AUTOLAVADO
TOTAL (Kg)		1209,6									3