

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial



“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA DISMINUIR DEFICIENCIAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL NORTE DEL PERÚ, 2019.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Industrial

**Autores:**

Carmen Ariana Díaz Linares

Yessica Briones Quiroz

**Asesor:**

Mg. Ing. Karla Rossemary Sisniegas Noriega

Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

Dedicamos el presente proyecto de investigación a nuestros padres, Rosario Linares Zenteno y Edwin Díaz Mori; Alfredo Briones Zafra y Cenayda Quiroz Cabada; y tíos, Percy Linares y Fernando Linares por brindarnos su apoyo incondicional y sobre todo económico en los buenos y malos momentos; asimismo, dándonos su constante amor, forjándonos con valores, siendo responsables de quienes somos ahora. De igual manera, a nuestros familiares que nos apoyan siempre para formarnos como profesionales de éxito.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por brindarnos salud y permitirnos lograr este sueño, formarnos como ingenieras industriales de éxito.

Asimismo a nuestros padres Rosario Linares Zenteno y Edwin Díaz Mori; Alfredo Briones Zafra y Cenayda Quiroz Cabada y tíos Fernando Linares y Percy Linares, por apoyarnos en este largo camino universitario que hoy en día estamos culminando con éxito y muchos logros.

También agradecemos a nuestros fieles amigos Johnny Montalvo Jave y Kevin Marino Rojas por brindarnos su amistad incondicional desde los primeros ciclos y a la vez por compartir sus conocimientos, logrando así ser a lo largo de nuestra vida universitaria uno de los mejores equipos de trabajo en cada curso llevado, y así obtener logros consecutivos a pesar de las adversidades que se presentaron, siempre fuimos un gran equipo... Uno para todos y todos para uno.

A nuestra asesora Mg. Ing. Karla Sisniegas por su apoyo, guía y constante asesoría para la culminación exitosa del presente proyecto de investigación y de esta etapa universitaria.

A nuestros docentes que nos brindaron sus conocimientos en estos 5 años de universidad,

Y finalmente a nuestras mascotas Mishka y Lulu por siempre estar para nosotras.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. Formulación del Problema .....	18
1.2. Objetivos .....	18
1.3. Hipótesis .....	19
<b>CAPÍTULO II. MÉTODO.....</b>	<b>20</b>
2.1. Tipo de investigación .....	20
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) .....	21
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	21
2.4. Procedimiento .....	27
2.5. Matriz de operacionalización de variables .....	28
2.6. Matriz de consistencia.....	30
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
3.1. Información general de la PTAP .....	31
3.2. Diagnóstico general del área de estudio.....	31
3.3. Diagnóstico de la Variable Independiente: Proceso de Coagulación-Floculación .....	37
3.3.1. <i>Diagnóstico de la Dimensión Partículas en Suspensión</i> .....	37
3.3.2. <i>Diagnóstico de la dimensión turbidez</i> .....	39
3.3.3. <i>Diagnóstico de la dimensión grado de acidez</i> .....	52
3.3.4. <i>Diagnóstico de la dimensión dosis óptima</i> .....	59
3.4. Diagnóstico de la Variable Dependiente: Deficiencias en el Proceso .....	111

3.4.1	<i>Diagnóstico de la Dimensión Efectividad en el Proceso</i> .....	111
3.4.2.	<i>Diagnóstico de la dimensión eficiencia en el proceso</i> .....	119
3.4.3.	<i>Diagnóstico de la dimensión remoción de sólidos sedimentales</i> .....	123
3.4.4.	<i>Diagnóstico de la dimensión generación de materia residual</i> .....	126
3.5.	Matriz de Operacionalización de Variables Resultados Diagnóstico .....	127
3.5.1.	<i>Resultados para la Variable Independiente: Proceso de Coagulación-Floculación</i> .....	129
3.5.1.1.	Resultados para la Dimensión de Partículas en Suspensión .....	129
3.5.1.2.	Resultados para la dimensión turbidez.....	129
3.5.1.3.	Resultados para la dimensión grado de acidez.....	131
3.5.1.4.	Resultados para la dosis óptima.....	132
3.5.2.	<i>Resultados para la variable dependiente: Deficiencias en el proceso</i> .....	133
3.5.2.1.	Resultados para la dimensión efectividad del proceso.....	133
3.5.2.2.	Resultados para la dimensión eficiencia del proceso .....	134
3.5.2.3.	Resultados para la dimensión generación de material residual de turbiedad.....	135
3.6.	Diseño y desarrollo de la propuesta de mejora .....	136
3.7.	Desarrollo de la propuesta de mejora.....	137
3.7.1.	<i>Método empleado para mejorar la dosis óptima</i> .....	137
3.7.1.1	Prueba de jarras.....	137
3.7.2.	<i>Propuesta de mejora en el proceso de coagulación- floculación</i> .....	138
3.7.3.	<i>Aplicación del método prueba de jarra</i> .....	138
3.7.4.	<i>Mejorar la eficiencia y efectividad del proceso</i> .....	139
3.7.5.	<i>Análisis de Resultados</i> .....	139
3.7.5.1.	Análisis de Resultados para la Variable Independiente: Proceso de Coagulación- Floculación .....	139
3.7.5.1.1.	<i>Análisis de resultados para la dimensión partículas en suspensión</i> .....	139
3.7.5.1.2.	<i>Análisis de resultados para la dimensión turbidez</i> .....	141
3.7.5.1.3.	<i>Análisis de resultados para la dimensión grado de acidez</i> .....	142
3.7.5.1.4.	<i>Análisis de resultados para la dimensión dosis óptima</i> .....	143
3.7.5.2.	Análisis de Resultados para la Variable Dependiente: Deficiencias en el Proceso .....	144
3.7.5.2.1.	<i>Análisis de resultados para la dimensión efectividad del proceso</i> .....	144

3.7.5.2.2.	<i>Análisis de resultados para la dimensión eficiencia del proceso</i> .....	146
3.7.5.2.3.	<i>Análisis de resultados para la dimensión remoción de sólidos sedimentales</i> ...	150
3.7.5.2.4.	<i>Análisis de resultados para la dimensión generación de material residual de turbiedad</i> .....	151
3.8.	Resultados de los indicadores después de la propuesta .....	152
3.8.1.	<i>Resultados para la dimensión partículas en suspensión después de la mejora</i> .....	152
3.8.2.	<i>Resultados para la dimensión turbidez después de la mejora</i> .....	153
3.8.3.	<i>Resultados para la dimensión grado de acidez después de la mejora</i> .....	154
3.8.4.	<i>Resultados para la dimensión dosis óptima después de la mejora</i> .....	155
3.8.5.	<i>Resultados para la dimensión efectividad en el proceso</i> .....	156
3.8.6.	<i>Resultados para la dimensión eficiencia en el proceso</i> .....	157
3.8.7.	<i>Resultados para la dimensión remoción de sólidos</i> .....	158
3.8.8.	<i>Resultados para la dimensión generación de material residual</i> .....	159
3.9.	Resultados del análisis económico .....	160
3.9.1.	<i>Costos por mantenimiento de maquinaria, equipos y herramientas</i> .....	160
3.9.2.	<i>Costos por capacitaciones anuales</i> .....	160
3.9.3.	<i>Costos de implementos</i> .....	161
3.9.4.	<i>Costos de materiales de registro</i> .....	161
3.9.5.	<i>Costos de horas hombre adicionales por dosificación.</i> .....	162
3.9.6.	<i>Costos por incurrir en la propuesta de mejora</i> .....	164
3.9.7.	<i>Costos por no incurrir en la propuesta de mejora</i> .....	165
3.9.8.	<i>Flujo de caja neto</i> .....	166
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....		<b>167</b>
4.1.	Discusión.....	167
4.2.	Conclusiones.....	170
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>172</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>173</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Técnicas e instrumentos de recolección para el desarrollo de la investigación...</i>	21
<b>Tabla 2</b>	<i>Indicadores de matriz prueba de jarras</i>	24
<b>Tabla 3</b>	<i>Matriz para método de prueba de jarras</i>	26
<b>Tabla 4</b>	<i>Procedimientos para análisis de datos</i>	27
<b>Tabla 5</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N° 1</i>	40
<b>Tabla 6</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N° 2</i>	41
<b>Tabla 7</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°3</i>	42
<b>Tabla 8</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°4</i>	43
<b>Tabla 9</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°5</i>	44
<b>Tabla 10</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°6</i>	45
<b>Tabla 11</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°7</i>	45
<b>Tabla 12</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°8</i>	46
<b>Tabla 13</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°9</i>	47
<b>Tabla 14</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°10</i>	48
<b>Tabla 15</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°11</i>	49
<b>Tabla 16</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°12</i>	50
<b>Tabla 17</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°13</i>	50
<b>Tabla 18</b>	<i>Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°14</i>	51
<b>Tabla 19</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N° 1</i>	53
<b>Tabla 20</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N° 2</i>	53
<b>Tabla 21</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N° 3</i>	54
<b>Tabla 22</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°4</i>	54
<b>Tabla 23</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°5</i>	55
<b>Tabla 24</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°6</i>	55
<b>Tabla 25</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°7</i>	56
<b>Tabla 26</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°8</i>	56
<b>Tabla 27</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°9</i>	57
<b>Tabla 28</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°10</i>	57
<b>Tabla 29</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°11</i>	58
<b>Tabla 30</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°12</i>	58
<b>Tabla 31</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°13</i>	59
<b>Tabla 32</b>	<i>Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°14</i>	59
<b>Tabla 33</b>	<i>Prueba de Jarras N°1</i>	63
<b>Tabla 34</b>	<i>Prueba de Jarras N°2</i>	67
<b>Tabla 35</b>	<i>Prueba de Jarras N°3</i>	70
<b>Tabla 36</b>	<i>Prueba de Jarras N°4</i>	74
<b>Tabla 37</b>	<i>Prueba de Jarras N°5</i>	77
<b>Tabla 38</b>	<i>Prueba de Jarras N°6</i>	81
<b>Tabla 39</b>	<i>Prueba de Jarras N°7</i>	85

<b>Tabla 40</b> <i>Prueba de Jarras N°8</i> .....	88
<b>Tabla 41</b> <i>Prueba de Jarras N°9</i> .....	92
<b>Tabla 42</b> <i>Prueba de Jarras N°10</i> .....	95
<b>Tabla 43</b> <i>Prueba de Jarras N°11</i> .....	99
<b>Tabla 44</b> <i>Prueba de Jarras N°12</i> .....	103
<b>Tabla 45</b> <i>Prueba de Jarras N°13</i> .....	106
<b>Tabla 46</b> <i>Prueba de Jarras N°14</i> .....	110
<b>Tabla 47</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 1</i> .....	112
<b>Tabla 48</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 2</i> .....	112
<b>Tabla 49</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 3</i> .....	113
<b>Tabla 50</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 4</i> .....	113
<b>Tabla 51</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 5</i> .....	114
<b>Tabla 52</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 6</i> .....	114
<b>Tabla 53</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 7</i> .....	115
<b>Tabla 54</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 8</i> .....	116
<b>Tabla 55</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 9</i> .....	116
<b>Tabla 56</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 10</i> .....	117
<b>Tabla 57</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 11</i> .....	117
<b>Tabla 58</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 12</i> .....	118
<b>Tabla 59</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 13</i> .....	118
<b>Tabla 60</b> <i>Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 14</i> .....	119
<b>Tabla 61</b> <i>Tabla de dosis óptima según el nivel de turbiedad</i> .....	120
<b>Tabla 62</b> <i>Turbiedad residual</i> .....	126
<b>Tabla 63</b> <i>Resultados para la dimensión partículas en suspensión</i> .....	129
<b>Tabla 64</b> <i>Resultados para la dimensión turbidez</i> .....	130
<b>Tabla 65</b> <i>Resultados para la dimensión grado de acidez</i> .....	131
<b>Tabla 66</b> <i>Resultados para la dosis óptima</i> .....	132
<b>Tabla 67</b> <i>Resultados dimensión efectividad del proceso</i> .....	133
<b>Tabla 68</b> <i>Resultados dimensión eficiencia del proceso</i> .....	134
<b>Tabla 69</b> <i>Resultados de material residual de turbiedad</i> .....	135
<b>Tabla 70</b> <i>Análisis de resultados para la dimensión partículas en suspensión</i> .....	140
<b>Tabla 71</b> <i>Análisis de resultados para la dimensión nivel de turbidez</i> .....	141
<b>Tabla 72</b> <i>Análisis de resultados para la dimensión grado de acidez</i> .....	142
<b>Tabla 73</b> <i>Análisis de resultados para la dimensión dosis óptima</i> .....	143
<b>Tabla 74</b> <i>Tabla de dosificación actual</i> .....	144
<b>Tabla 75</b> <i>Tabla de dosis óptimas aplicando la propuesta de mejora</i> .....	145
<b>Tabla 76</b> <i>Tabla actual de dosis según los diferentes niveles de turbiedad</i> .....	146
<b>Tabla 77</b> <i>Tabla de cronograma de capacitaciones</i> .....	150
<b>Tabla 78</b> <i>Tabla de remoción de sólidos resultados con la situación actual y resultados con la propuesta de mejora</i> .....	151
<b>Tabla 79</b> <i>Tabla de remoción de sólidos resultados con la situación actual y resultados con la propuesta de mejora</i> .....	152
<b>Tabla 80</b> <i>Resultados para la dimensión partículas en suspensión después de la mejora</i> .....	153

<b>Tabla 81</b>	<i>Resultados para la dimensión turbidez después de la mejora</i>	153
<b>Tabla 82</b>	<i>Resultados para la dimensión grado de acidez después de la mejora</i>	154
<b>Tabla 83</b>	<i>Resultados para la dimensión dosis óptima después de la mejora</i>	155
<b>Tabla 84</b>	<i>Resultados para la dimensión efectividad en el proceso</i>	156
<b>Tabla 85</b>	<i>Resultados para la dimensión eficiencia en el proceso</i>	157
<b>Tabla 86</b>	<i>Resultados para la dimensión remoción de sólidos</i>	158
<b>Tabla 87</b>	<i>Resultados para la dimensión generación de material residual</i>	159
<b>Tabla 88</b>	<i>Costos por mantenimiento de maquinaria, equipos y herramientas</i>	160
<b>Tabla 89</b>	<i>Costos por capacitaciones anuales</i>	161
<b>Tabla 90</b>	<i>Costos de implementos</i>	161
<b>Tabla 91</b>	<i>Costos de materiales de registro</i>	162
<b>Tabla 92</b>	<i>Costos de horas hombre adicionales por dosificación</i>	163
<b>Tabla 93</b>	<i>Costos por incurrir en la propuesta de mejora</i>	164
<b>Tabla 94</b>	<i>Costos por no incurrir en la propuesta de mejora</i>	165
<b>Tabla 95</b>	<i>Flujo de caja neto</i>	166

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1</b> <i>Prueba de jarra antes de aplicar la dosis de sulfato de aluminio</i> .....	124
<b>Ilustración 2</b> <i>Durante la sedimentación</i> .....	124
<b>Ilustración 3</b> <i>Prueba de jarra casi al final de la sedimentación</i> .....	124
<b>Ilustración 4</b> <i>Prueba de jarras al final de la sedimentación</i> .....	125

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	40
Ecuación 2: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	61
Ecuación 3: Concentración y Volumen .....	61
Ecuación 4: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	64
Ecuación 5: Concentración y Volumen .....	65
Ecuación 6: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	68
Ecuación 7: Concentración y Volumen .....	68
Ecuación 8: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	72
Ecuación 9: Concentración y Volumen .....	72
Ecuación 10: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	75
Ecuación 11: Concentración y Volumen .....	76
Ecuación 12: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	79
Ecuación 13: Concentración y Volumen .....	79
Ecuación 14: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	83
Ecuación 15: Concentración y Volumen .....	83
Ecuación 16: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	86
Ecuación 17: Concentración y Volumen .....	86
Ecuación 18: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	90
Ecuación 19: Concentración y Volumen .....	90
Ecuación 20: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	93
Ecuación 21: Concentración y Volumen .....	94
Ecuación 22: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	97
Ecuación 23: Concentración y Volumen .....	97
Ecuación 24: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	101
Ecuación 25: Concentración y Volumen .....	101
Ecuación 26: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	104
Ecuación 27: Concentración y Volumen .....	104
Ecuación 28: Solución de sulfato de aluminio al 10% .....	108
Ecuación 29: Concentración y Volumen .....	108

## RESUMEN

La presente investigación tiene origen en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, la cual presenta datos de dosificación en una tabla estandarizada la cual por el cambio de clima y otros factores se encuentra desactualizada, por lo que el personal a cargo no cuenta con la dosis exacta de sulfato de aluminio que debería utilizar para la potabilización del agua captada, lo que genera inconvenientes y problemas en los procesos de coagulación y floculación. Debido a ello, se tiene como objetivo optimizar los procesos de coagulación y floculación para disminuir las deficiencias en dichos procesos, así como proponer una mejora y medir las deficiencias antes y después de ella, para finalmente realizar un análisis de costo-beneficio para evaluar la viabilidad de la optimización propuesta. Planteando como hipótesis lo siguiente: La optimización del proceso de coagulación-floculación disminuirá las deficiencias en el proceso de coagulación- floculación en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú. Por lo que se empleó el método de prueba de jarras para actualizar dicha tabla de dosificación, utilizando como muestra el agua captada, con sus condiciones actuales, logrando una efectiva optimización de los procesos de coagulación y floculación, además se midió las deficiencias anteriores y posteriores de la propuesta de mejora, además al analizar el costo-beneficio, obteniendo un VAN de S/. 330 032.76, así como un TIR > COK y un IR de S/2.13 lo que indica la viabilidad de la propuesta planteada.

**PALABRAS CLAVE:** optimización, proceso, coagulación, floculación, costos, deficiencias, mejoras, parámetros.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua potable se considera uno de los principales objetivos dentro de la salud pública, en cuanto a su suministro, acceso y uso, con el fin de garantizar ese recurso a la población. Existen determinadas normas que establecen los valores mínimos y máximos en cuanto al contenido de minerales, pH, patógenos, entre otros parámetros con los cuales se mantiene un control dentro del proceso de garantizar un agua como apta para consumo. (Barajas Garzón & León Luque, 2015).

La presencia de materias diversas en suspensión, arena, limos, coloides orgánicos, plancton y otros microorganismos da lugar a la turbidez en el agua. Estas partículas de dimensiones variables se pueden agrupar en tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas (provenientes de la descomposición o agregación de restos vegetales) y partículas filamentosas (por ejemplo, restos de amiantos u otros filosilicatos (Galvín, Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas. Segunda Edición., 2019).

Los aportes de aguas turbias en épocas de lluvias ricas en materiales minerales causan aumento de la turbidez en aguas de ríos. Además, las algas en época de su floración también pueden provocar incrementos importantes de turbidez en medios hídricos naturales. (Hach, 2005).

Ordóñez (2018), nos indica en su investigación que debido a la variación turbiedad que presenta el agua cruda al ingresar a la PTC en épocas de lluvia, ha ocasionado un tipo de agua que abarca características que la hacen muy difícil de coagular, por lo cual se ha desarrollado un estudio orientado a cumplir con ciertos objetivos que ayudan a mejorar esas características, mediante la ejecución de ensayos en el equipo de Jarras, contribuyendo con la mejora de los procesos de clarificación del agua constituidos por: coagulación, floculación y sedimentación. A lo largo del trabajo se obtuvo una curva de dosificación de

Sulfato de Aluminio en función de la turbiedad y pH del agua cruda, y con ello la determinación de la dosis óptima del mismo.

El proceso de potabilización tiene como fin brindar un agua que cumpla con cada requisito establecido, existen diversos procesos de potabilización, generalmente la fuente del agua son ríos o lagos, naturales o superficiales, los cuales pasan por diferentes etapas; una filtración inicial para eliminar posibles sólidos de gran tamaño, seguido de una precipitación de impurezas suspendidas en el agua por medio del proceso de coagulación y floculación donde se elimina la turbidez del agua por medio de floculantes, luego de la anterior etapa el agua pasa por un proceso de sedimentación en donde se decantan todos los flóculos, para eliminar arenas o partículas que no se hubiesen sedimentado, se realiza otra filtración por medio de filtros de diferente tamaño que a su vez eliminan el color del agua, para luego realizar una desinfección ya sea con cloro, rayos ultra violeta u ozono (Barajas Garzón & León Luque, 2015).

Rodríguez (2002), realizaron en Cuba, el estudio de una solución factible para la clarificación de aguas para consumo humano, mediante la medición del potencial Z, como método de control de la dosis de coagulantes donde se profundiza en el estudio teórico del proceso de coagulación-floculación y se comprueba la similitud con los resultados alcanzados en el método de prueba de jarras en cuanto a la selección de las mejores dosis de coagulantes.

Por otra parte, los investigadores en esta tesis se establecieron que el problema se da debido a que la planta de tratamiento de Villa Santana no maneja una dosis óptima de coagulante dado que, en ocasiones hace que se utilice más coagulante del necesario provocando tanto una sobredosisificación, pero en otras al dosificar menos de lo necesario no se obtiene un buen proceso de coagulación como la turbiedad y el color no son removidos adecuadamente. El método que se realizó para identificar cuál es la dosificación

correcta de sulfato de aluminio fue el método de jarras, obteniendo resultados óptimos en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos analizados y el cumplimiento de ellos (Bedoya & Giraldo, 2012)

Garay (2015), en la tesis que realizó encontró que el agua en su comunidad se encuentra contaminada por la ganadería y agricultura que se realiza en la zona por lo que inicia con una caracterización del agua cruda, con el fin de identificar el nivel de contaminación que presenta, es decir, la cantidad de turbiedad, color, pH, pretendiendo lograr la purificación del agua determinando la dosificación óptima para el tratamiento de agua potable, en donde se determinó dosificaciones y relaciones de turbiedad y color para establecer la utilización de sulfato de aluminio como coagulante, evaluando el producto por un periodo de cuatro meses con días continuos a través de la prueba de jarras y conjuntamente se puso en marcha la aplicación del coagulante. Al analizar los datos obtenidos se determinó que el sulfato de aluminio es un coagulante efectivo para el tratamiento de aguas del río Shullcas. Entre los resultados analizados se determinaron la eficiencia mínima de la dosificación de sulfato de aluminio.

Salazar (2011) en la tesis que realizó, encontró que actualmente la ciudad de Armenia cuenta con aproximadamente trescientos mil habitantes demandantes del consumo diario de agua potable tratada y distribuida por las Empresas Públicas de Armenia, esta planta de potabilización se abastece con agua cruda del río Quindío, la cual es sometida a métodos convencionales para su tratamiento, que parte de un tratamiento preliminar en la bocatoma, luego en planta se lleva a cabo la desarenación, coagulación – floculación, sedimentación, filtración, desinfección y estabilización de pH, utilizando el método de prueba de jarras para definir los factores más importantes, que den como resultado una agua óptima para el consumo humano, obteniendo como resultados que los

factores que indican dicho estado de agua deben ser identificados por el color orgánico aparente, turbiedad, pH, patógenos.

Luque (2015) nos indica en su investigación, que existen diferentes problemáticas en cuanto al nivel de efectividad de los procesos de potabilización debido a que las condiciones del agua a tratar no siempre son las mismas, esto se puede ver especialmente en el proceso de coagulación y floculación, en el cual el nivel de efectividad se ve afectado debido a que la dosis de coagulante que se aplica está calculado de acuerdo con unas condiciones iniciales, por el método de prueba de jarras con diferentes muestras de agua en diferentes escenarios para definir la dosis óptima según las características del agua obteniendo como resultado que el comportamiento entre la turbidez inicial y la dosis óptima de coagulante tiende a mostrar cierta linealidad.

Actualmente, en esta Planta de Tratamiento de Agua Potable se utiliza una tabla en donde se manifiesta la dosis óptima de sulfato de aluminio donde está establecida la cantidad de coagulante- floculante según el nivel de turbidez que este tenga, sin embargo se podría mejorar específicamente los procesos de coagulación y floculación realizando nuevas pruebas de jarras para la obtención de nuevos datos y definir cuál es el más óptimo, ya que las características actuales de la captación del agua varían debido a las lluvias recientemente dadas, por lo que el nivel de turbiedad aumenta por este fenómeno climático.

Asimismo, por lo observado hay ocasiones en las que se suministra más producto del necesario (sulfato de aluminio), esto conlleva a la disminución de pH en el agua procesada, por lo que, para estabilizar dicho pH se requiere de hidróxido de calcio, lo que genera aumento de costos en insumos: sulfato de aluminio e hidróxido de calcio, lo que adicionalmente produce un costo extra por mano de obra. Debido a ello, se vio la

necesidad de establecer la dosis óptima en diferentes niveles de turbiedad para disminuir dichas deficiencias.

En el agua cruda, cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repela las partículas vecinas, lo cual impide el choque de las partículas y que se formen así masas mayores, llamadas flóculos (Pérez Garay, 2015)

Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos (Andía Cárdenas, 2010).

Por medio del proceso de coagulación se desestabilizan los coloides neutralizando las fuerzas que los mantienen separados. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polímeros coagulantes. Los coagulantes químicos cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, y permiten que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. Estos flóculos, inicialmente pequeños, crean, al juntarse, aglomerados mayores que son capaces de asentarse. El proceso de desestabilización es la coagulación, lo cual implica neutralización de la carga, la etapa de formación de flóculos es la floculación. El siguiente paso es predecir las condiciones de coagulación (Pérez Garay, 2015).

Por otro lado, la floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un floc que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de decantación y filtración (Andía Cárdenas, 2010).

Es muy importante que los procedimientos de coagulación y floculación sean utilizados correctamente, ya que la producción de un floc muy pequeño o ligero produce

una decantación insuficiente, ya que es frágil y se rompe en pequeñas partículas que pueden atravesar el filtro sin alterar significativamente el nivel de turbidez en el agua tratada (Andía Cárdenas, 2010).

En este estudio se optimizará los procesos de coagulación – floculación para disminuir las deficiencias mencionadas anteriormente, que se puede ocasionar en estos procesos, utilizando para dicha optimización el método de prueba de jarras que nos ayudará a establecer la dosis óptima del coagulante - floculante utilizado, en este caso, sulfato de aluminio.

### **1.1. Formulación del Problema**

¿En qué medida la optimización del proceso de coagulación-floculación disminuirá las deficiencias en el proceso en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, 2019?

### **1.2. Objetivos**

#### ***1.2.1. Objetivo general***

- Optimizar el proceso de coagulación-floculación para disminuir las deficiencias en el proceso en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, 2019.

#### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Analizar el proceso actual de coagulación- floculación y sus deficiencias en la PTAP en el Norte del Perú, 2019.
- Proponer la optimización del proceso de coagulación- floculación en la PTAP en el Norte del Perú, 2019.
- Medir las deficiencias en el proceso después de la optimización del proceso de coagulación- floculación en la PTAP en el Norte del Perú, 2019.

- Realizar un análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad de la optimización, en la PTAP en el Norte del Perú 2019.

### **1.3. Hipótesis**

La optimización del proceso de coagulación-floculación disminuirá de manera significativa las deficiencias en el proceso de coagulación- floculación en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, 2019.

## CAPÍTULO II. MÉTODO

### 2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental, cuantitativa, transversal exploratorio.

El enfoque experimental sirve para analizar si es una situación de control en la cual se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizarlas consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos) (Sampieri, 2014). Es por ello que esta investigación se basa en la manipulación de las muestras de manera intencional, ya que es una simulación a nivel laboratorio del tratamiento dado al agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, con el fin de optimizar la dosificación de sulfato de aluminio para disminuir las deficiencias en los procesos de coagulación y floculación.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Sampieri, 2014). En este caso utilizaremos la recolección de datos tomada en las distintas pruebas de jarras para proceder con el análisis y establecer la dosis óptima de sulfato de aluminio.

El propósito del diseño transversal exploratorio se trata de una exploración inicial en un momento específico, al explorar la situación logran formarse una idea del problema que les interesa por lo que sólo se recolecta datos una vez en un momento determinado (Sampieri, 2014). En este caso debido a que las muestras fueron tomadas en los meses: mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2019.

## 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: Agua recolectada de la cámara de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú en mayo hasta Noviembre del año 2019.

Muestra: Seis jarras de estudio de 2 L cada una de la PTAP en el Norte del Perú, 2019.

Galvín (1998), indica que el método de la prueba de jarras fue estandarizado en 1980 mediante una norma ASTM (USA), donde se estable que este ensayo se enfoca a la evaluación del tratamiento de un agua en orden a reducir su contenido en sólidos disueltos, sólidos en suspensión, materias coloidales y otras materias no sedimentables, mediante los procesos de coagulación-floculación y posterior decantación por gravedad. Con este ensayo se puede evaluar a escala de laboratorio la optimización de estos procesos y saber con mayor exactitud la óptima dosis de reactivos químicos potencialmente utilizables para tratar un agua. Entre las condiciones cabe reseñar el pH óptimo de tratamiento, la temperatura del agua y el orden de adición de reactivos.

## 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas e instrumentos de recolección que se utilizaron para el desarrollo de esta investigación se muestran en la siguiente tabla con su respectiva justificación e instrumentos para la recolección de datos, asimismo se considera la aplicación de cada técnica mencionada a continuación.

**Tabla 1**

*Técnicas e instrumentos de recolección para el desarrollo de la investigación*

<b>Técnica</b>	<b>Justificación</b>	<b>Materiales</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Entrevista</b>	Brindó información del estado actual de la	Cámara	Guía de entrevista	Jefe del área de control de

	PTAP y de cómo realizar la simulación de los procesos de coagulación-floculación mediante el método de jarras para optimizar dichos procesos en la PTAP en el Norte del Perú y establecer su dosis óptima de coagulante-floculante.	Lapiceros Grabadora		calidad en la PTAP en el Norte del Perú.
<b>Prueba de jarras</b>	Brindó la información de la dosis óptima de coagulante-floculante, en este caso, sulfato de aluminio para la optimización de los procesos de coagulación y floculación y establecer que se pudieron disminuir las deficiencias en este.	Equipo de prueba de jarras Pipetas Sulfato de aluminio	Matriz prueba de jarras.	Seis jarras de 2 litros de contenido cada una con agua recolectada de la cámara de la PTAP en el Norte del Perú.
<b>Observación directa</b>	Permitió identificar rápidamente durante la prueba de jarras el tiempo de formación de los flocs y al mismo tiempo su tamaño.	Cronómetro Cámara	Matriz prueba de jarras	Seis jarras de 2 litros de contenido cada una con agua recolectada de la cámara de la PTAP en el Norte del Perú con la presencia de sulfato de aluminio en ella

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

#### **a) Entrevista verbal**

Se realizó una entrevista verbal al ingeniero encargado del área de control de calidad para saber cuál es la situación actual de la PTAP en el Norte del Perú en cuanto al desarrollo de los procesos de coagulación- floculación y a partir de ello realizar los indicadores a evaluar en el método de prueba de jarras tanto para la variable dependiente como independiente.

## **b) Prueba de jarras**

Para recolectar las muestras se tuvo que tomar agua de la cámara para identificar la dosis óptima de sulfato de aluminio utilizando el método de prueba de jarras. La prueba de jarras es un proceso unitario y la principal prueba de laboratorio para determinar el dosaje de coagulantes en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable, son simulaciones en el laboratorio de las operaciones de coagulación, floculación y sedimentación que se realiza en esta Planta de Tratamiento de Agua Potable.

Los indicadores por considerar en la prueba de jarras en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú son:

**Tabla 2**

*Indicadores de matriz prueba de jarras*

PROCESOS	DEFINICIÓN	INDICADORES	DEFINICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
<b>Agua Cruda</b>	Los parámetros físicos y químicos en un agua cruda son determinantes para comprender los diferentes resultados respecto a remoción de color, turbiedad, alcalinidad y pH.	Turbiedad	Parámetro extremadamente útil en la evaluación de control de la operación de una planta de tratamiento, la turbiedad deberá ser menor de 5 unidades nefelometría de turbiedad (NTU).	NTU
		pH	El pH es una condición crítica en el proceso de coagulación – floculación. Su importancia deriva del hecho de que los agentes activos, como consecuencia de la adición al agua cruda, sales metálicas comunes, como el sulfato de aluminio y/o cloruro de férrico, son productos de la hidrólisis metálica cuya formación depende del pH en el punto de aplicación, Por lo tanto, la coagulación deberá llevarse a cabo dentro de la zona óptima del pH, puesto que, en caso contrario, además de derrochar una cierta cantidad de productos químicos, el agua tratada será de inferior calidad.	-
		Temperatura	La interpretación del valor de la temperatura del agua debe realizarse relacionándola con la temperatura ambiente en el lugar y momento de la medida. Las variaciones de temperatura se deben a muchos factores: hora del día, estación, profundidad del agua y otros factores	°C
<b>Dosificación</b>	Sustancias químicas para desestabilizar las partículas suspendidas con cargas similares. Esto permite que se unan y que se inicie la formación de flóculos.	Tiempo	Se utiliza para nombrar a una magnitud de carácter físico que se emplea para realizar la medición de lo que dura algo que es susceptible de cambio y permita la homogenización de la suspensión de partículas formada tras la adición de los reactivos.	s,m
		Velocidad	Midiendo directamente con un recipiente y un cronómetro el volumen descargado por unidad de tiempo.	rpm
		Coagulante	Un coagulante son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un flóculo de hidróxido del metal, insoluble en agua.	mg/L

<b>Observaciones visuales</b>	Examinar con atención para detectar y asimilar información.	Tiempo	Se utiliza para nombrar a una magnitud de carácter físico que se emplea para realizar la medición de lo que dura algo que es susceptible de cambio.	s,m
<b>Floculación</b>	Se define como el proceso de unir partículas coagulantes y desestabilizadas para formar mayores masas o flóculos, facilitando su separación por sedimentación o filtración del agua tratada	Turbidez residual pH	La turbiedad residual describe la claridad u opacidad del agua. El pH es una condición crítica en el proceso de coagulación – floculación. Su importancia deriva del hecho de que los agentes activos, como consecuencia de la adición al agua cruda, sales metálicas comunes, como el sulfato de aluminio y/o cloruro de férrico, son productos de la hidrólisis metálica cuya formación depende del pH en el punto de aplicación, Por lo tanto, la coagulación deberá llevarse a cabo dentro de la zona óptima del pH, puesto que, en caso contrario, además de derrochar una cierta cantidad de productos químicos, el agua tratada será de inferior calidad	NTU -
<b>Sedimentación</b>	Proceso después de la coagulación y floculación para reducir la velocidad a fin de remover los sólidos sedimentables antes de la filtración.	Tiempo  Temperatura	Se utiliza para nombrar a una magnitud de carácter físico que se emplea para realizar la medición de lo que dura algo que es susceptible de cambio.  La interpretación del valor de la temperatura del agua debe realizarse relacionándola con la temperatura ambiente en el lugar y momento de la medida. Las variaciones de temperatura se deben a muchos factores: hora del día, estación, profundidad del agua y otros factores	s,m  °C

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Asimismo, en la siguiente tabla se muestra la matriz que se utilizó para la prueba de jarras con los indicadores mencionados anteriormente.

**Tabla 3**

*Matriz para método de prueba de jarras*

**PRUEBA DE JARRAS**

NOMBRE DE LA FUENTE	
TEMPERATURA	

AGUA CRUDA			DOSIFICACIÓN (mg/L)	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA		
Turbiedad: NTU			MEZCLA RAPIDA	Volumen de jarras:	FLOCULACIÓN		SEDIMENTACIÓN
			Tiempo: Velocidad:		Tiempo de Floc: Velocidad:	Tiempo de sedimentación:	
Jarra N°	pH	Temperatura (°C)	Coagul. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (mg/L)	Tiempo de formación de FLOC	Turb. Residual (NTU)	pH	Temperatura (°C)
1							
2							
3							
4							
5							
6							

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

## 2.4. Procedimiento

Para realizar la investigación de optimización del proceso de coagulación-floculación para disminuir deficiencias en el proceso en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, se emplearon los indicadores mencionados en la siguiente tabla, los cuales se analizarán bajo el mismo método, el método de prueba de jarras, como se muestra a continuación:

**Tabla 4**

*Procedimientos para análisis de datos*

INDICADOR	MÉTODO	INSTRUMENTO	MATERIALES
Solución de sustancias minerales			
Medida inicial y final de turbidez			
pH			
Cantidad del coagulante requerido			Laboratorio
Correcta disolución de grumos en el agua dosificada	Prueba de jarras	Matriz de prueba de jarras	
Porcentaje de material particulado reducido			Lapiceros
Porcentaje de cantidad de sólidos removidos			Cámara

*Fuente: Elaborada por los investigadores*

## 2.5. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Variable independiente: Proceso de coagulación-floculación	Existen diferentes problemáticas en cuanto al nivel de efectividad de los procesos de potabilización debido a que las condiciones del agua a tratar no siempre son las mismas, por lo que afecta el resultado de cada etapa, esto se puede ver especialmente en el proceso de Coagulación y Floculación, en el cual el nivel de efectividad se ve afectado debido a que la dosis de coagulante que se aplica está calculada de acuerdo con unas condiciones iniciales. (Barajas C. y León. 2015)	Partículas en suspensión	Disolución de sustancias suspendidas
		Turbidez	Inicial y final (NTU)
		Grado de acidez	pH
		Dosis óptima	Cantidad de coagulantes requeridos y cantidad final de la turbidez y grado de acidez dentro del efluente

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Variable dependiente: Deficiencias en el proceso	Aunque no siempre se logra el control de los factores críticos de las organizaciones en el corto plazo, en el mediano o largo plazo es posible, lo ideal es identificarlos y comenzar a trabajarlos con un horizonte claro y bien fundamentado, que conlleve a la formulación de estrategias adecuadas para solucionar las deficiencias encontradas (Gómez O. 2011)	Efectividad del proceso	Disolución de grumos y bajo el nivel de turbidez en el agua dosificada
		Eficiencia del proceso	Dosis óptima de sulfato de aluminio reflejado en el nivel de turbiedad y pH final del agua dosificada.
		Remoción de sólidos sedimentales	Porcentaje de la cantidad de sólidos removidos (%)
		Generación de materia residual	Generación de turbidez residual por falta de dosis.

## 2.6. Matriz de consistencia

### Título:

### “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA DISMINUIR DEFICIENCIAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL NORTE DEL PERÚ, 2019.”

Problema	Objetivo General	Hipótesis	Metodología
<b>¿En qué medida la optimización del proceso de coagulación-floculación disminuirá las deficiencias en el proceso en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, 2019?</b>	<p>Optimizar el proceso de coagulación-floculación para disminuir las deficiencias en el proceso en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, 2019.</p>	<p>La optimización del proceso de coagulación-floculación disminuirá de manera significativa las deficiencias en el proceso de coagulación-floculación en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, 2019.</p>	<p>Tipo de Investigación: Experimental Cuantitativa Trasversal exploratorio</p>
	<p>Objetivos Específicos</p>	<p>Variables</p>	<p>Población Agua recolectada de la cámara de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú- en mayo hasta noviembre del año 2019.</p>
	<p>Analizar el proceso actual de coagulación-floculación y sus deficiencias en la PTAP en el Norte del Perú, 2019. Proponer la optimización del proceso de coagulación- floculación en la PTAP en el Norte del Perú, 2019. Medir las deficiencias en el proceso después de la optimización del proceso de coagulación- floculación en la PTAP en el Norte del Perú, 2019. Realizar un análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad de la optimización, 2019.</p>	<p>Variable Independiente Optimización del proceso de coagulación- floculación</p> <p>Variable Dependiente Deficiencias en el proceso</p>	<p>Muestra Seis jarras de estudio de 2 L cada una de la PTAP en el Norte del Perú, 2019.</p> <p>Técnicas e Instrumentos Método Prueba de Jarras</p>

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Información general de la PTAP

La Planta de Tratamiento de Agua Potable tiene como objetivo el desarrollo, control, operación y mantenimiento de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en un punto de la región Norte del Perú con funciones específicas para este fin, en los aspectos de planeamiento, programación, financiamiento, preparación de proyectos, ejecución de obras, asesoría y asistencia técnica, supervisión de funcionamiento y evaluación de resultados.

Esta unidad de tratamiento cuenta con una capacidad nominal de tratamiento de 140 l/s., siendo construida a inicios del siglo XX aproximadamente. Además sus fuentes de abastecimiento de esta Planta de Tratamiento son ríos, por lo que se utiliza equipo electromecánico para los procesos de mezcla rápida, floculación, lavado de filtros, funcionamiento del tanque hidroneumático y otros.

#### ➤ **Objetivo**

Lograr satisfacer la demanda de los servicios de agua potable y alcantarillado al año 2020, en el ámbito de operación de la PTAP al 99% de la población y tratar ecológicamente las aguas residuales, asegurando la sostenibilidad financiera, fortaleciendo las capacidades humanas y desarrollando un buen gobierno corporativo.

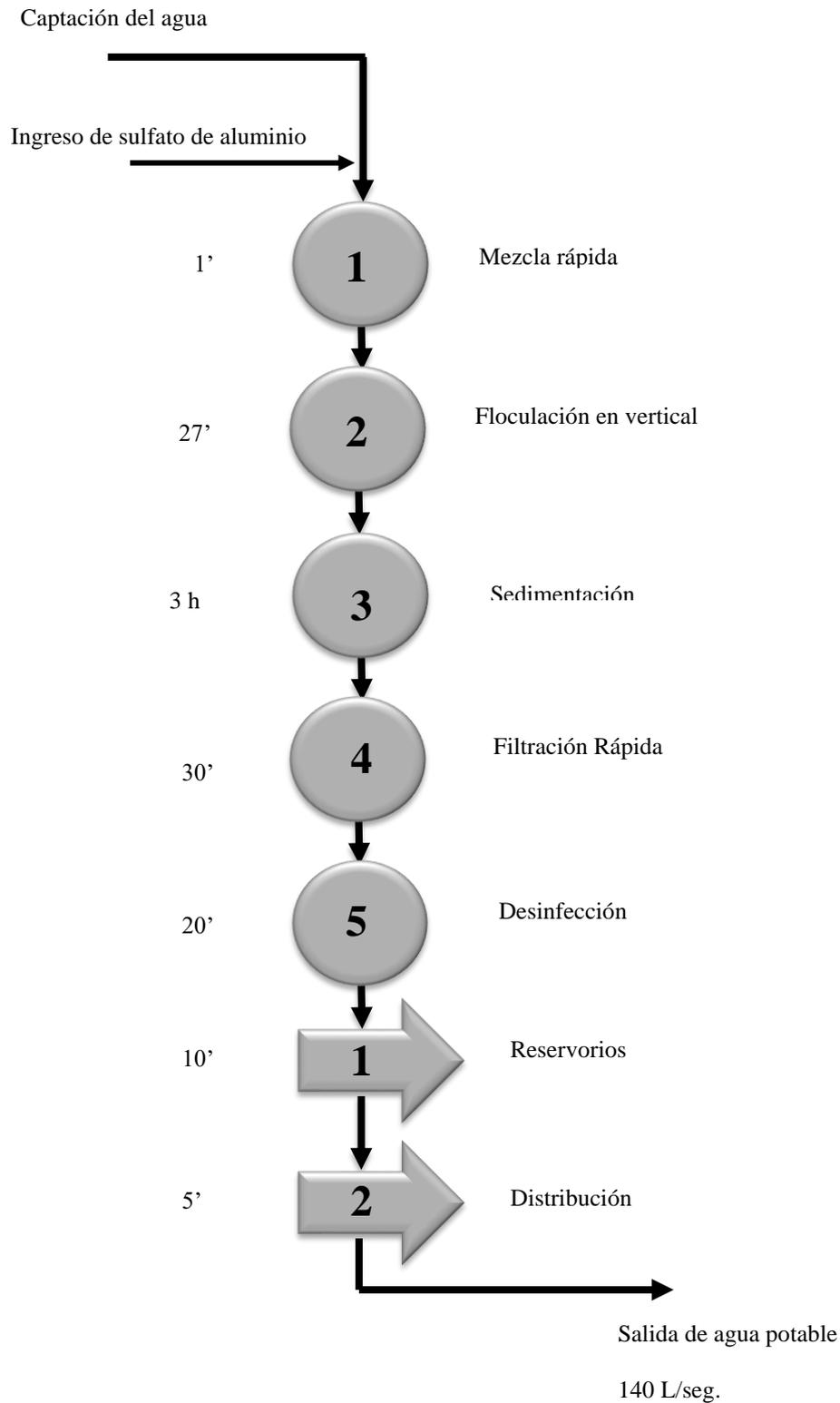
#### ➤ **Misión**

Brindar servicios en agua potable y alcantarillado sanitario, atendiendo la demanda con calidad, responsabilidad social, ambiental, con una gestión moderna, sostenible, competitiva y transparente.

### 3.2. Diagnóstico General del Area de Estudio

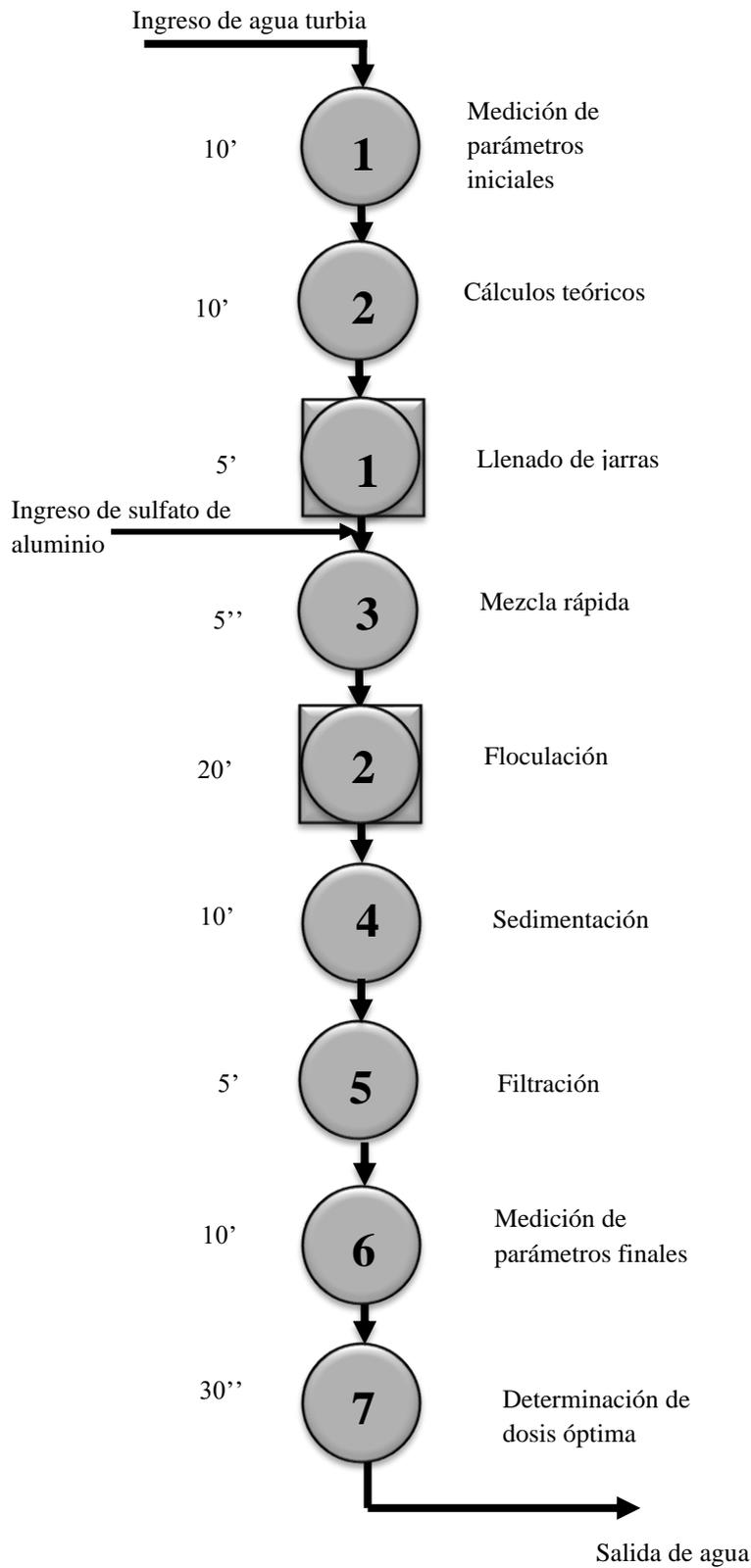
A continuación, en el siguiente diagrama se detalla el área de estudio

### Diagrama de Procesos de la PTAP en el Norte del Perú



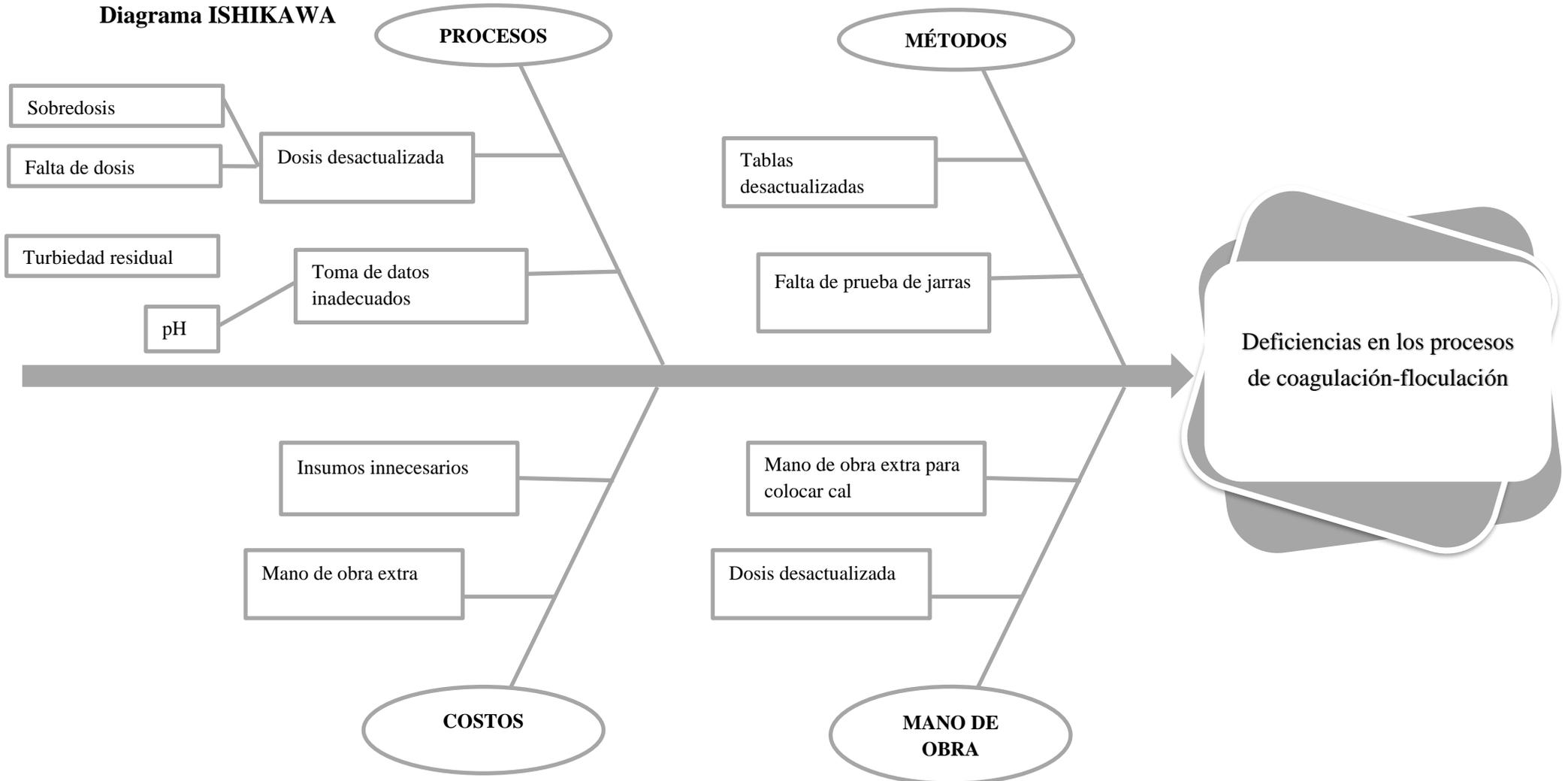
Se capta el agua cruda que proviene de las captaciones de los ríos de la región Norte del Perú, en la Planta de Tratamiento de Agua Potable, en esta cámara se dosifica el sulfato de aluminio, y se efectúa la medición del caudal de ingreso. Cámara de Mezcla Rápida: Estructura rectangular con dos canales laterales de distribución (acoplado a los floculadores), actualmente en esta cámara se dosifica la cal hidratada para la corrección del pH. Luego se pasa a la cámara de floculación conformada por dos estructuras rectangulares de concreto armado, continuas a la cámara de mezcla rápida, el sistema de floculación es mecánico de flujo vertical, el tiempo de retención en los floculadores es de 27 minutos. Sedimentadores: Compuesto por dos tanques rectangulares de concreto armado, contiguos a los floculadores y filtros; seguidamente pasa a los filtros rápidos, conformado por cuatro tanques rectangulares que cuentan con un falso piso de fondo, en el cual se ubican el lecho filtrante mixto de antracita y arena con soporte de grava. Estos filtros se encuentran acoplados a los ambientes de galería de tubos y sala de operaciones. Cada unidad cuenta con un área de filtración de 14 m<sup>2</sup> y una carga superficial de 4,25 m/h. Los cuatro filtros en la actualidad procesan 140 lps de agua. Llevados inmediatamente al proceso de desinfección para eliminar agentes patógenos u otras bacterias que aún se encuentran en el agua mediante la adición de cloro gas. Después de ello, pasa a los reservorios R-2 de 2,500 m<sup>3</sup> de capacidad, para luego ser distribuido y abastecer al 70% de la población.

### Diagrama de Proceso del Método de Prueba de Jarras



Para el método de prueba de jarras, lo primero que se realizó fue recepcionar el agua turbia en un tanque mediano, para luego trasladarlo al laboratorio y realizar la medición de los parámetros tales como el pH y el nivel de turbiedad inicial. Después, se calcula teóricamente la dosis óptima teniendo como base la tabla de datos (dosis óptima según el nivel de turbidez otorgado por la PTAP), seguido de ello, se procede a llenar las 6 jarras que contienen 2 L cada una, luego con la ayuda de 3 personas se agregó la dosis de sulfato de aluminio correspondiente a cada jarra a evaluar, la cual estuvo determinada previamente por los cálculos teóricos ya realizados. Después, se inicia con el proceso de la prueba contando 5 segundos para que se realice el proceso de mezcla rápida, seguidamente por un periodo de 20 minutos donde se produce la floculación, para luego pasar al proceso de sedimentación, donde las partículas de tierra que aún quedan bajan hasta el fondo de las jarras, esto en un lapso de 10 minutos. Posteriormente, se realiza la filtración y se procede a tomar muestras de cada una de las jarras para poder medir el pH y la turbiedad final, en donde se determinó la dosis óptima de sulfato de aluminio y la necesidad de hidróxido de cal en caso de neutralizar el agua.

**Diagrama ISHIKAWA**



Interpretación de Diagrama ISHIKAWA. - a través de este organizador se pudo identificar a fondo los problemas en los procesos de coagulación y floculación de la PTAP. Esto, debido a tablas desactualizadas de dosificación por falta de prueba de jarras, lo que conlleva a una dosis no óptima y a la utilización de insumos adicionales para el tratamiento del agua captada en la PTAP en el Norte del Perú debido al nivel de turbiedad y pH fuera de los parámetros establecidos, asimismo la generación de mano de obra extra para que coloquen dichos insumos tales como hidróxido de cal o mayor cantidad de sulfato de aluminio según sea el caso, generando sobrecostos en dichos insumos y mano de obra extra. Asimismo, se genera un cuello de botella al no tener una dosis óptima, debido a que se toman mayor tiempo en identificar la dosis adecuada. Es por ello por lo que se debe realizar con mayor frecuencia la prueba de jarras para establecer la dosificación óptima en la PTAP en el Norte del Perú.

### **3.3. Diagnóstico de la Variable Independiente: Proceso de Coagulación-Floculación**

#### **3.3.1. *Diagnóstico de la Dimensión Partículas en Suspensión***

Para determinar que las partículas en suspensión quedan disueltas en el agua captada, se realizó el método de prueba de jarras, ya que el fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones químicas bastante complejas al añadir el coagulante-floculante que en este caso es el sulfato de aluminio. Dentro de esas reacciones se encuentran las que se efectúan con las diversas formas de alcalinidad, por lo cual su contenido disminuye. Además, algunas de estas reacciones producen  $\text{CO}_2$ , cuyo efecto consiste fundamentalmente en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH.

Esto se realiza mediante la observación, después de haber agregado el sulfato de aluminio en las 6 jarras, continua el proceso de coagulación, ya que, una vez desestabilizado los iones del agua que pasan de tener una carga negativa a una carga

positiva, para luego durante la agitación en un tiempo de 20 minutos, se van observando cómo estos se van atrayendo y se van dando a notar al momento de adherirse unos a otros haciéndose cada vez más grandes. Una vez que se realiza este proceso se pasa a la sedimentación y posteriormente a la filtración en donde se eliminan todas las sustancias suspendidas encontradas en el agua cruda.

Este diagnóstico depende mucho del nivel inicial de turbidez que tenga el agua y a la dosis que se utilice en ella. En la primera prueba de jarras se inició con un nivel de turbidez de 2425 NTU y se observó que las partículas en suspensión no visibles se empezaron a juntar, logrando notarse después de 10 minutos, esto debido al peso, por ello se sedimentó sin que ocurra el proceso como tal, sin embargo, aún se podía notar algunas partículas suspendidas. Para la segunda prueba, el nivel de turbidez fue de 2825 NTU en la cual de igual manera que la prueba número uno, las partículas en suspensión no visibles se empezaron a juntar notándose después de 10 minutos. Para la tercera prueba el nivel de turbidez fue de 875 NTU, en la cual una vez dosificada el agua, se notó una mejora total, debido a que visiblemente no se notaron partículas en suspensión. Para la cuarta prueba el nivel de turbiedad fue de 564 NTU, en donde de igual manera que la prueba anterior no se notó visiblemente partículas en suspensión. Para la quinta prueba el nivel de turbidez fue de 2284 NTU en la cual una vez dosificada el agua, se notó que en las jarras 1 y 2 había aún partículas en suspensión visibles, mientras que en las jarras 3, 5 y 6 se notó ligeras partículas suspendidas visibles, en tanto en la jarra 4 ya no se apreciaban. Para la sexta prueba el nivel de turbidez fue de 756 NTU en la cual una vez dosificada el agua, no se notó partículas en suspensión visibles. Para la séptima prueba el nivel de turbidez fue de 983 NTU en la cual, una vez dosificada el agua, al igual que en la prueba anterior, no se notaron partículas en suspensión. Para la octava prueba el nivel de turbidez fue de 1743 NTU en la cual, una vez dosificada el agua, se notó en la jarra 1

ligeras partículas en suspensión, mientras que en las jarras 2, 3, 4, 5 y 6 ya no se apreciaban. Para la novena, decima, onceava y doceava prueba el nivel de turbidez fue de 1192 NTU, 915 NTU, 456 NTU y 1340 NTU respectivamente, en la cual una vez dosificada el agua, no se notó que en las jarras hubiera partículas en suspensión notorias. Para la treceava prueba el nivel de turbidez fue de 1623 NTU respectivamente, en las cuales una vez dosificada el agua, en las jarras 1,2,3 y 4 se notó ligeramente partículas suspendidas visibles, mientras que en las jarras 5 y 6 ya no había partículas en suspensión que se puedan apreciar fácilmente. Para la catorceava y última prueba el nivel de turbidez fue de 1875 NTU en la cual una vez dosificada el agua, se notó que en las jarras 1 y 2 había una ligera notoriedad de las partículas en suspensión, en tanto las jarras 3, 4, 5 y 6 no se apreciaban. Por lo que el nivel de turbidez influye tanto con la cantidad de dosis a utilizar como con las partículas en suspensión que quedan presentes en el agua ya dosificada.

### 3.3.2. *Diagnóstico de la dimensión turbidez*

En el caso de la turbidez, se tuvo que tomar medidas tanto al inicio como al final debido a que, al captar el agua cruda esta está con cierto nivel de turbidez, el cual disminuirá al colocar el sulfato del aluminio por lo que se vuelve a tomar la medida correspondiente para verificar en cuanto ha disminuido y este sea el óptimo, utilizando un turbidímetro, el cual expresa sus resultados en unidades de turbidez nefelometrías (NTU).

La turbidez o turbiedad es como tal una expresión del efecto óptico causado por la dispersión o también por la interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua captada previamente; en otras palabras, la turbidez es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz emitida sea en el proceso remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en el agua puede ser causada principalmente por una gran variedad de materiales que están en suspensión, y que varían según su tamaño

desde dispersiones coloidales hasta partículas más grandes y/o gruesas, entre otros como materia orgánica e inorgánica, arcillas, limo, microorganismos, etc.

Mediante el método de jarras, se obtuvo los siguientes datos:

### Prueba de Jarras N°1

Para definir la dosis óptima basándonos en el nivel de turbiedad inicial (nos guiamos de la tabla con la que cuenta actualmente la PTAP). Teniendo como turbiedad inicial, 2425 NTU, para ello, la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos brindada por la PTAP es de 210 mg/l.

Previamente a realizar la prueba de jarras, se pasa por un análisis previo para identificar que dosis podrían funcionar y posteriormente identificar la más adecuada, es por ello por lo que, como primer paso se establece la solución madre mediante lo siguiente:

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 1: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Posteriormente a realizar la prueba de jarras se obtiene:

**Tabla 5**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N° 1*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
1	33.30
2	21.80
3	34.80
4	19.40
5	41.20
6	47.90

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Se obtiene los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 33.30 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 21.80 NTU, para la jarra N°3 se obtuvo una turbiedad final de 34.80 NTU, para la jarra N°4 una turbiedad final de 19.40 NTU, para la jarra N° 5 una turbiedad final de 41.29 NTU y finalmente para la jarra N°6 una turbiedad final de 47.90 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 19.40 NTU de 2425 NTU, sin embargo, no es suficiente para decir que el agua está en óptimas condiciones ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarra N°2**

Para esta prueba y las pruebas a continuación, se realizó los mismos procedimientos previos a la prueba de jarras.

En esta prueba se obtuvo lo siguiente:

Turbiedad inicial= 2825 NTU

pH inicial= 7.22

Posteriormente a realizar la prueba de jarras se obtiene:

**Tabla 6**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N° 2*

<b>N° de Jarras</b>	<b>Turbiedad final (NTU)</b>
<b>1</b>	48.50
<b>2</b>	47.70
<b>3</b>	33.60
<b>4</b>	55.20
<b>5</b>	60.40
<b>6</b>	37.90

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En esta segunda prueba, con una turbidez inicial de 2825 NTU, se obtiene los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 48.50 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 47.70 NTU, para la jarra N°3 se obtuvo una turbiedad final de 33.60 NTU, para la jarra N°4 una turbiedad final de 55.20 NTU, para la jarra N° 5 una turbiedad final de 60.40 NTU y finalmente para la jarra N°6 una turbiedad final de 37.90 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 33.60 NTU de 2825 NTU, sin embargo, no es suficiente para decir que el agua está en óptimas condiciones ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarra N°3**

Turbiedad inicial= 875 UNT

#### **Tabla 7**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°3*

<b>N° de Jarras</b>	<b>Turbiedad final (NTU)</b>
<b>1</b>	3.23
<b>2</b>	3.34
<b>3</b>	3.56
<b>4</b>	4.06
<b>5</b>	2.34
<b>6</b>	1.50

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la tercera prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad de 875 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 3.23 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 3.34 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 3.56 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final

de 4.06 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 2.34 NTU;  
finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 1.50 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 1.50 NTU de  
875 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los  
parámetros de turbidez establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad  
del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

#### **Prueba de Jarra N°4**

Turbiedad inicial= 564 *UNT*

#### **Tabla 8**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°4*

<b>N° de Jarras</b>	<b>Turbiedad final (NTU)</b>
<b>1</b>	1.60
<b>2</b>	2.87
<b>3</b>	3.96
<b>4</b>	4.87
<b>5</b>	4.91
<b>6</b>	5.07

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la cuarta prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad de 564  
NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de  
1.60 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 2.87 NTU, para la jarra  
N°3 una turbiedad final de 3.96 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final  
de 4.87 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 4.91 NTU;  
finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 5.07 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 1.60 NTU de  
564 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los

parámetros de turbidez establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarras N°5**

Turbiedad inicial= 2284 UNT

pH inicial= 7.57

### **Tabla 9**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°5*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	47.30
<b>2</b>	29.10
<b>3</b>	12.50
<b>4</b>	8.24
<b>5</b>	10.70
<b>6</b>	13.60

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la quinta prueba de jarras realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 2284 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 47.30 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 29.10 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 12.50 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 8.24 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 10.70 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 13.60 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 8.24 NTU de 2284 NTU, sin embargo, no es suficiente para decir que el agua está en óptimas condiciones ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarras N°6**

Turbiedad inicial= 756 UNT

pH inicial= 7.58

**Tabla 10**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°6*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	2.98
<b>2</b>	1.67
<b>3</b>	3.40
<b>4</b>	4.21
<b>5</b>	4.88
<b>6</b>	5.74

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la sexta prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 756 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 2.98 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 1.67 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 3.40 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 4.21 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 4.88 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 5.74 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 1.67 NTU de 756 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

**Prueba de Jarras N°7**

Turbiedad inicial= 983 UNT

pH inicial= 7.86

**Tabla 11**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°7*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
--------------	-----------------------

<b>1</b>	5.40
<b>2</b>	2.90
<b>3</b>	3.80
<b>4</b>	4.05
<b>5</b>	6.51
<b>6</b>	6.57

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la séptima prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 983 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 5.40 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 2.90 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 3.80 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 4.05 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 6.51 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 6.57 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 2.90 NTU de 983 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarras N°8**

Turbiedad inicial= 1743 UNT

pH inicial= 7.36

### **Tabla 12**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°8*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	10.30
<b>2</b>	8.60
<b>3</b>	3.80
<b>4</b>	2.70
<b>5</b>	1.10
<b>6</b>	2.90

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la octava prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 1743 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 10.30 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 8.60 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 3.80 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 2.70 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 1.10 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 2.90 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 1.10 NTU de 1743 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarras N°9**

Turbiedad inicial= 1192 UNT

pH inicial= 7.48

### **Tabla 13**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°9*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	7.50
<b>2</b>	6.94
<b>3</b>	4.98
<b>4</b>	3.71
<b>5</b>	2.40
<b>6</b>	1.80

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la novena prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 1192 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 7.50 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 6.94 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 4.98 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad

final de 3.71 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 2.40 NTU;  
finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 1.80 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 1.80 NTU de  
1192 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los  
parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para  
Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### Prueba de Jarras N°10

Turbiedad inicial= 915 UNT

pH inicial= 7.74

### Tabla 14

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°10*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	4.65
<b>2</b>	2.99
<b>3</b>	1.70
<b>4</b>	3.30
<b>5</b>	4.70
<b>6</b>	5.90

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la décima prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial  
de 915 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad  
final de 4.65 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 2.99 NTU, para la  
jarra N°3 una turbiedad final de 1.70 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad  
final de 3.30 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 4.70 NTU;  
finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 5.90 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 1.70 NTU de  
915 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los

parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarras N°11**

Turbiedad inicial= 456 UNT

pH inicial= 7.53

### **Tabla 15**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°11*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	4.06
<b>2</b>	3.92
<b>3</b>	2.75
<b>4</b>	1.70
<b>5</b>	2.00
<b>6</b>	2.50

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la onceava prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 456 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 4.06 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 3.92 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 2.75 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 1.70 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 2.00 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 2.50 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 1.70 NTU de 456 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **Prueba de Jarras N°12**

Turbiedad inicial= 1340 UNT

pH inicial= 7.48

**Tabla 16**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°12*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	7.96
<b>2</b>	5.98
<b>3</b>	4.87
<b>4</b>	4.13
<b>5</b>	5.89
<b>6</b>	6.79

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la doceava prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 1340 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 7.96 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 5.98 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 4.87 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 4.13 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 5.89 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 6.79 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 4.13 NTU de 756 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

**Prueba de Jarras N°13**

Turbiedad inicial= 1623 UNT

pH inicial= 7.37

**Tabla 17**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°13*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	5.10
<b>2</b>	4.20

<b>3</b>	10.90
<b>4</b>	17.30
<b>5</b>	19.80
<b>6</b>	21.80

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la treceava prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 1623 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 5.10 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 4.20 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 10.90 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 17.30 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 19.80 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 21.80 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 4.20 NTU de 1623 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

#### **Prueba de Jarras N°14**

Turbiedad inicial= 1875 UNT

pH inicial= 7.37

#### **Tabla 18**

*Nivel de turbiedad final de la prueba de jarras N°14*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)
<b>1</b>	14.10
<b>2</b>	10.90
<b>3</b>	9.67
<b>4</b>	3.80
<b>5</b>	4.10
<b>6</b>	5.30

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Según la catorceava prueba de jarra realizada, con un nivel de turbiedad inicial de 1875 NTU, se obtuvo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 una turbiedad final de 14.10 NTU, para la segunda jarra una turbiedad final de 10.90 NTU, para la jarra N°3 una turbiedad final de 9.67 NTU, en la jarra N°4 se obtuvo una turbiedad final de 3.80 NTU, para la jarra N° 5 se obtuvo una turbiedad final de 4.10 NTU; finalmente para la jarra N°6 se obtuvo una turbiedad final de 5.30 NTU.

Según estos resultados, el nivel de turbidez puede bajar hasta 3.80 NTU de 756 NTU, por lo que es suficiente para decir que el agua cumple con los parámetros establecidos, ya que según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano debe ser menor a 5 NTU.

### **3.3.3. *Diagnóstico de la dimensión grado de acidez***

Es muy importante que durante el proceso de coagulación-floculación se determine al momento final, cual es el nivel de pH en el agua ya tratada con la adición de sulfato de aluminio, debido a que este compuesto cuando realiza la desestabilización de iones formando los flocs durante cierto tiempo, baja el nivel de pH pudiendo llevar a tener agua ácida al finalizar con el procedimiento. Para ello se realizó la prueba de jarras obteniendo los siguientes datos:

En la primera prueba de jarras se inició con un pH de 7.03 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo en la primera jarra un pH final de 7.01, para la segunda jarra 6.89, en la tercera jarra 6.74, en la cuarta jarra 6.65, en la quinta jarra 6.42 y finalmente en la sexta jarra 5.56. En este caso, solo las jarras 1,2,3 y 4 son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 19**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N° 1*

<b>N° de Jarras</b>	<b>pH final</b>
<b>1</b>	7.01
<b>2</b>	6.89
<b>3</b>	6.74
<b>4</b>	6.65
<b>5</b>	6.42
<b>6</b>	5.56

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la segunda prueba de jarras se inició con un pH de 7.22, teniendo como pH final en la primera jarra 6.41, para la segunda jarra 6.34, en la tercera jarra 6.30, en la cuarta jarra 5.32, en la quinta jarra 4.62 y finalmente en la sexta jarra 4.50. En este caso, no son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5, por lo que sería necesario el uso de hidróxido de cal para estabilizar el pH.

**Tabla 20**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N° 2*

<b>N° de Jarras</b>	<b>pH final</b>
<b>1</b>	6.41
<b>2</b>	6.34
<b>3</b>	6.30
<b>4</b>	5.32
<b>5</b>	4.62
<b>6</b>	4.50

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la tercera prueba de jarras se inició con un pH de 6.85 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo en la primera jarra un pH final de 6.84, para la segunda jarra 6.78, en la tercera jarra 6.74, en la cuarta jarra 6.73, en la quinta jarra 6.73 y finalmente en la sexta jarra 6.72. En este caso, todas las jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 21**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N° 3*

<b>N° de Jarras</b>	<b>pH final</b>
<b>1</b>	6.84
<b>2</b>	6.78
<b>3</b>	6.74
<b>4</b>	6.73
<b>5</b>	6.73
<b>6</b>	6.72

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la cuarta prueba de jarras se inició con un pH de 7.18 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.14, para la segunda jarra de 6.48, en la tercera jarra de 6.33, en la cuarta jarra de 6.30, en la quinta jarra de 6.18 y finalmente en la sexta jarra 6.16. En este caso, solo la jarra 1 está dentro del límite mínimo permisible; mientras que las jarras 2, 3, 4, 5 y 6 están muy por debajo, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5, por lo tanto la jarra 1 es la única óptima.

**Tabla 22**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°4*

<b>N° de Jarras</b>	<b>pH final</b>
<b>1</b>	7.14
<b>2</b>	6.48
<b>3</b>	6.33
<b>4</b>	6.30
<b>5</b>	6.18
<b>6</b>	6.16

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la quinta prueba de jarras se inició con un pH de 7.57 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.50, para la segunda jarra de 6.61, en la tercera jarra de 6.65, en la cuarta jarra de 6.77, en la quinta jarra de 6.82 y finalmente en la sexta jarra 6.93. En este caso, todas las jarras son

óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 23**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°5*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.50
<b>2</b>	6.61
<b>3</b>	6.65
<b>4</b>	6.77
<b>5</b>	6.82
<b>6</b>	6.93

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la sexta prueba de jarras se inició con un pH de 7.58 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.38, para la segunda jarra de 7.46, en la tercera jarra de 7.35, en la cuarta jarra de 7.21, en la quinta jarra de 7.12 y finalmente en la sexta jarra 7.01. En este caso, todas las jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 24**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°6*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.38
<b>2</b>	7.46
<b>3</b>	7.35
<b>4</b>	7.21
<b>5</b>	7.12
<b>6</b>	7.01

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la séptima prueba de jarras se inició con un pH de 7.86 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.74, para la segunda jarra de 7.81, en la tercera jarra de 7.38, en la cuarta jarra de 7.17, en la quinta jarra de 7.16 y finalmente en la sexta jarra 7.18. En este caso, todas las

jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 25**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°7*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.74
<b>2</b>	7.81
<b>3</b>	7.38
<b>4</b>	7.17
<b>5</b>	7.16
<b>6</b>	7.18

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la octava prueba de jarras se inició con un pH de 7.36 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.42, para la segunda jarra de 7.28, en la tercera jarra de 7.09, en la cuarta jarra de 6.97, en la quinta jarra de 6.92 y finalmente en la sexta jarra 6.97. En este caso, también todas las jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 26**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°8*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.42
<b>2</b>	7.28
<b>3</b>	7.09
<b>4</b>	6.97
<b>5</b>	6.92
<b>6</b>	6.97

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la novena prueba de jarras se inició con un pH de 7.48 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.34, para la segunda jarra de 7.30, en la tercera jarra de 7.25, en la cuarta jarra de 7.10, en la quinta jarra de 6.98 y finalmente en la sexta jarra 6.97. En este caso, todas las

jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 27**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°9*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.34
<b>2</b>	7.30
<b>3</b>	7.25
<b>4</b>	7.10
<b>5</b>	6.98
<b>6</b>	6.97

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la décima prueba de jarras se inició con un pH de 7.74 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.43, para la segunda jarra de 7.42, en la tercera jarra de 7.36, en la cuarta jarra de 7.23, en la quinta jarra de 7.19 y finalmente en la sexta jarra 7.14. En este caso, todas las jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 28**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°10*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.43
<b>2</b>	7.42
<b>3</b>	7.36
<b>4</b>	7.23
<b>5</b>	7.19
<b>6</b>	7.14

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la onceava prueba de jarras se inició con un pH de 7.53 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.32, para la segunda jarra de 7.15, en la tercera jarra de 7.02, en la cuarta jarra de 6.96, en la quinta jarra de 6.86 y finalmente en la sexta jarra 6.75. En este caso, todas las

jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 29**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°11*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.32
<b>2</b>	7.15
<b>3</b>	7.02
<b>4</b>	6.96
<b>5</b>	6.86
<b>6</b>	6.75

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la doceava prueba de jarras se inició con un pH de 7.48 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.46, para la segunda jarra de 7.34, en la tercera jarra de 7.32, en la cuarta jarra de 7.30, en la quinta jarra de 7.27 y finalmente en la sexta jarra 7.29. En este caso, todas las jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 30**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°12*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.46
<b>2</b>	7.34
<b>3</b>	7.32
<b>4</b>	7.30
<b>5</b>	7.27
<b>6</b>	7.29

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la treceava prueba de jarras se inició con un pH de 7.37 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.30, para la segunda jarra de 7.27, en la tercera jarra de 7.11, en la cuarta jarra de 6.84, en la quinta jarra de 6.48 y finalmente en la sexta jarra 6.99. En este caso, las jarras

1, 3, 4, 5 y 6 son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 31**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°13*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.30
<b>2</b>	7.27
<b>3</b>	7.11
<b>4</b>	6.84
<b>5</b>	6.48
<b>6</b>	6.99

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la catorceava prueba de jarras se inició con un pH de 7.25 y como se puede observar en la siguiente tabla, se obtuvo que en la primera jarra el pH final obtenido fue de 7.31, para la segunda jarra de 7.27, en la tercera jarra de 7.12, en la cuarta jarra de 7.08, en la quinta jarra de 7.01 y finalmente en la sexta jarra 6.98. En este caso, todas las jarras son óptimas, ya que el agua potable para el consumo humano según el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano debe estar entre 6.5 a 8.5.

**Tabla 32**

*Medida del pH final en la Prueba de Jarras N°14*

N° de Jarras	pH final
<b>1</b>	7.31
<b>2</b>	7.27
<b>3</b>	7.12
<b>4</b>	7.08
<b>5</b>	7.01
<b>6</b>	6.98

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.3.4. *Diagnóstico de la dimensión dosis óptima*

Es muy importante determinar cuál es la dosis óptima por utilizar para no generar deficiencias durante el proceso o crear subprocesos durante el tratamiento de agua potable. Es por ello que tan pronto se agrega el coagulante-floculante, se observa el

proceso de coagulación, es decir, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse, pasando al proceso de floculación, en los cuales se llegan a formar flóculos que crecen con el tiempo, la rapidez con la que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que sean efectivas para producir adherencia. Por consecuencia, debido a la agitación, gravedad y peso de las partículas caen al aglomerarse.

El coagulante aplicado (sulfato de aluminio) da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión, para ello será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula y aumente el tamaño del flóculo. Además, como es un coagulante-floculante metálico es muy sensible al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre, lo que genera problemas al usuario del agua. Cuanto menos sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios de pH. Por lo que es importante medir el nivel de turbidez y pH en el agua para no afectar al consumidor y tener una buena calidad de agua potable.

Para determinar la dosis óptima se realizó lo siguiente:

### **Prueba de Jarras**

#### **Prueba de Jarras N°1**

1. Se realizan los cálculos

Para definir la dosis óptima basándonos en el nivel de turbiedad inicial (nos guiamos de la tabla con la que cuenta actualmente la PTAP), para ello, la dosis

óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos brindada por la PTAP es de 210 mg/l.

Previamente a realizar la prueba de jarras, se pasa por un análisis previo para identificar qué dosis podría funcionar y posteriormente identificar la más adecuada, es por ello que, como primer paso se establece la solución madre mediante lo siguiente:

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(so_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 2: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 2425 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos de la PTAP es de 210 mg/l, es decir 4.20 ml.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 3: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000 mg}{l} \times V = \frac{150 mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 3ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000 \text{ mg}}{l} \times V = \frac{155 \text{ mg}}{l} \times 2000 \text{ ml}$$

$$V = 3.1 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000 \text{ mg}}{l} \times V = \frac{160 \text{ mg}}{l} \times 2000 \text{ ml}$$

$$v = 3.2 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000 \text{ mg}}{l} \times V = \frac{165 \text{ mg}}{l} \times 2000 \text{ ml}$$

$$V = 3.3 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000 \text{ mg}}{l} \times V = \frac{170 \text{ mg}}{l} \times 2000 \text{ ml}$$

$$V = 3.4 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000 \text{ mg}}{l} \times V = \frac{175 \text{ mg}}{l} \times 2000 \text{ ml}$$

$$V = 3.5 \text{ ml}$$

2. Se realiza la primera prueba de jarras

Se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato

de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

### Prueba de Jarras N°1

Turbiedad inicial= 2425UNT

pH inicial= 7.03

### Tabla 33

#### *Prueba de Jarras N°1*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	150	3.0	33.30	7.01
2	155	3.1	21.80	6.89
3	160	3.2	34.80	6.74
4	165	3.3	19.40	6.65
5	170	3.4	41.20	6.42
6	175	3.5	47.90	5.56

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la primera prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se obtiene que para un nivel de turbiedad de 2425 NTU la dosis óptima sería 210 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiente sería de 4.2 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 150 mg/L es decir 3.0 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 33.3 NTU y un pH final de 7.01, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 155 mg/L es decir 3.1 mL se obtuvo una turbiedad final de 21.80 NTU y un pH final de 6.89, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 160 mg/L es decir 3.2 mL se obtuvo una turbiedad final de 34.80 NTU y un pH final de 6.74,

para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 165 mg/L es decir 3.3 mL, se obtuvo una turbiedad final de 19.40 NTU con un pH final de 6.65, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 170 mg/L es decir 3.4 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 41.20 NTU y un pH final de 6.42, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 175 mg/L es decir 3.5 mL se obtuvo una turbiedad final de 47.90 NTU, y un pH final de 5.56.

Aparentemente según dicha prueba de jarras la dosis óptima sería la dosis aplicada en la jarra N°4, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad sin embargo no es la óptima para el consumo humano, por otro lado el pH final sí se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, mencionando que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio no fue la óptima, ya que el nivel de turbidez tiene que ser más bajo, lo que conlleva a un costo adicional para la PTAP, cuando se obtiene como turbidez inicial 2425 NTU.

## Prueba de Jarras N°2

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en la Prueba de Jarras N°1.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 4: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 2825 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos de la PTAP es de 240 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{L}$  a  $\frac{mL}{L}$

Fórmula:

*Ecuación 5: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras 2 L cada una

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{180mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 3.6ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{190mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 3.8ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{200mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 4 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000\text{mg}}{\text{l}} \times V = \frac{210\text{mg}}{\text{l}} \times 2000\text{ml}$$

$$V = 4.2\text{ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000\text{mg}}{\text{l}} \times V = \frac{220\text{mg}}{\text{l}} \times 2000\text{ml}$$

$$V = 4.4\text{ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000\text{mg}}{\text{l}} \times V = \frac{230\text{mg}}{\text{l}} \times 2000\text{ml}$$

$$V = 4.6\text{ml}$$

2. Se realiza la segunda prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras N°1, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarra N°2

Turbiedad inicial= 2825UNT

pH inicial= 7.22

En este caso según la PTAP la dosis óptima es de 180 mg/l, por lo que se decidió empezar con esa dosis en la jarra N°1 y continuar con dosis mayores para las jarras posteriores como se ve en la siguiente tabla.

**Tabla 34**

*Prueba de Jarras N°2*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	180	3.60	48.50	6.41
2	190	3.80	47.70	6.34
3	200	4.00	33.60	6.30
4	210	4.20	55.20	5.32
5	220	4.40	60.40	4.62
6	230	4.60	37.90	4.50

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la segunda prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad) ,se determinó que para un nivel de turbiedad de 2825 NTU la dosis óptima sería 240 mg/ l, que convertido a mL la dosis correspondiéndote es de 4.8 mL para una jarra 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para la siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar es de 180 mg/L es decir 3.60 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 48.5 NTU y un pH final de 6.41, para la segunda jarra se utilizó una dosis de sulfato de aluminio de 190 mg/L es decir 3.80 mL obteniendo una turbiedad final de 47.70 NTU y un pH final de 6.34, para la jarra N°3 una dosis de sulfato de aluminio de 200 mg/L es decir 4.00 mL donde se obtuvo una turbiedad final de 33.60 NTU y un pH final de 6.30, en la jarra N°4 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 210 mg/L es decir 4.20 mL obteniendo una turbiedad final de 55.20 NTU con un pH final de 5.32, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 220 mg/L es decir 4.40 mL, donde se obtuvo una turbiedad final de 60.40 NTU y un pH final de 4.62; finalmente

para la jarra N°6 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 230 mg/L es decir 4.50 mL se obtuvo una turbiedad final de 37.90 NTU, y un pH final de 4.5.

En esta segunda prueba de jarras, se determina que la dosis óptima está en la jarra N°3, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad sin embargo no es la óptima para el consumo humano, asimismo el pH final tampoco está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio no fue la óptima, ya que el nivel de turbidez tiene que ser más bajo, lo que conlleva a un costo adicional para la PTAP, cuando se obtiene como turbidez inicial 2825 NTU.

### Prueba de Jarras N°3

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en la Prueba de Jarras N°1.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 6: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 875 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 75 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 7: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{45mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 0.90 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{50mg}{l} \times 2000 \text{ ml}$$

$$V = 1 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{55mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 1.10 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{60mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.20 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{65mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.30 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{70mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.40 ml$$

2. Se realiza la tercera prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras N°1, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°3

Turbiedad inicial= 875UNT

pH inicial= 6.85

**Tabla 35**

*Prueba de Jarras N°3*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	45	0.90	3.23	6.84
2	50	1.00	3.34	6.78
3	55	1.10	3.56	6.74
4	60	1.20	4.06	6.73
5	65	1.30	2.34	6.73
6	70	1.40	1.50	6.72

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

3. Interpretación de resultados

Según la tercera prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 875 NTU la dosis óptima sería 75 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiéndote es de 1.5 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 45 mg/L es decir 0.90 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 3.23 NTU y un pH final de 6.84, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 50 mg/L es decir 1.00 mL se obtuvo una turbiedad final de 3.34 NTU y un pH final de 6.78, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 55 mg/L es decir 1.10 mL se obtuvo una turbiedad final de 3.56 NTU y un pH final de 6.74, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 60 mg/L es decir 1.20 mL, se obtuvo una turbiedad final de 4.06 NTU con un pH final de 6.73, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 65 mg/L es decir 1.30 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 2.34 NTU y un pH final de 6.73, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 70 mg/L es decir 1.40 mL se obtuvo una turbiedad final de 1.50 NTU, y un pH final de 6.72.

En esta tercera prueba de jarras, se determina que la dosis óptima está en la jarra N°6, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 875 NTU es de 70 mg/l.

## Prueba de Jarras N°4

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en la Prueba de Jarras N°1.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 8: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 564 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 45 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 9: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{35mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 0.7 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{40mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 0.8 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{45mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = \frac{60ml}{100} = 0.9ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{50mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{55mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.1 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{60mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.2ml$$

2. Se realiza la tercera prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras N°1, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan

posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°4

Turbiedad inicial= 564 UNT

pH inicial= 7.18

**Tabla 36**

*Prueba de Jarras N°4*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	35	0.70	1.60	7.14
2	40	0.80	2.87	6.48
3	45	0.90	3.96	6.33
4	50	1.00	4.87	6.30
5	55	1.10	4.91	6.18
6	60	1.20	5.07	6.16

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la cuarta prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 564 NTU la dosis óptima sería 45 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiéndote será 0.90 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 35 mg/L es decir 0.70 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 1.60 NTU y un pH final de 7.14, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 40 mg/L es decir 0.80 mL se obtuvo una turbiedad final de 2.87 NTU y un pH final de

6.48, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 45 mg/L es decir 0.90 mL se obtuvo una turbiedad final de 3.96 NTU y un pH final de 6.33, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 50 mg/L es decir 1.0 mL, se obtuvo una turbiedad final de 4.87 NTU con un pH final de 6.30, para la jarra N°5 una dosis de sulfato de aluminio de 55 mg/L es decir 1.10 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 4.91 NTU y un pH final de 6.18, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 60 mg/L es decir 1.2 mL se obtuvo una turbiedad final de 5.07 NTU, y un pH final de 6.16.

En esta cuarta prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°1, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 564 NTU es de 35 mg/l.

### Prueba de Jarras N°5

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en la Prueba de Jarras N°1.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 10: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 2284 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 190 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 11: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{140mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.8 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{150mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 3.00ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{160mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 3.20ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{170mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 3.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{180mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 3.60 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{190mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 3.80 ml$$

2. Se realiza la quinta prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras N°1, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°5

Turbiedad inicial= 2284 UNT

pH inicial= 7.57

**Tabla 37**

*Prueba de Jarras N°5*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
<b>1</b>	140	2.80	47.30	7.50
<b>2</b>	150	3.00	29.10	6.61

<b>3</b>	160	3.20	12.50	6.65
<b>4</b>	170	3.40	8.24	6.77
<b>5</b>	180	3.60	10.70	6.82
<b>6</b>	190	3.80	13.60	6.93

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la quinta prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 2284 NTU la dosis óptima sería 190 mg/L, que convertido en ml la dosis correspondiéndote será 3.80 ml para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 140 mg/L es decir 2.80 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 47.30 NTU y un pH final de 7.50, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 150 mg/L es decir 3 mL se obtuvo una turbiedad final de 29.10 NTU y un pH final de 6.61, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 160 mg/L es decir 3.20 mL se obtuvo una turbiedad final de 12.50 NTU y un pH final de 6.65, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 170 mg/L es decir 3.40 mL, se obtuvo una turbiedad final de 8.24 NTU con un pH final de 6.77 , para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 180 mg/L es decir 3.60 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 10.7 NTU y un pH final de 6.82, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 190 mg/L es decir 3.80 mL se obtuvo una turbiedad final de 13.6 NTU, y un pH final de 6.93.

En esta quinta prueba de jarras, se determina que la dosis óptima está en la jarra N°4, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad sin embargo no es la óptima para el consumo humano, sin embargo el pH final sí está dentro de los

parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio no fue la óptima, ya que el nivel de turbidez tiene que ser más bajo, lo que conlleva a un costo adicional para la PTAP, cuando se obtiene como turbidez inicial 2284 NTU.

### Prueba de Jarras N°6

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en la Prueba de Jarras N°1.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 12: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 756UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 65 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 13: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{40mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 0.80 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{50mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 1.0 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{60mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 1.20 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{70mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{80mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.60 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{90mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.80 ml$$

2. Se realiza la sexta prueba de jarras

Tal cual las Pruebas de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°6

Turbiedad inicial= 756 UNT

pH inicial= 7.58

**Tabla 38**

*Prueba de Jarras N°6*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	40	0.80	2.98	7.38
2	50	1.00	1.67	7.46
3	60	1.20	3.40	7.35
4	70	1.40	4.21	7.21
5	80	1.60	4.88	7.12
6	90	1.80	5.74	7.01

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

3. Interpretación de resultados

Según la sexta prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 756 NTU la dosis óptima sería 65 mg/L, que convertido en ml la dosis correspondiéndote es 1.3 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la

dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 40 mg/L es decir 0.80 ml obteniendo como resultado una turbiedad final de 2.98 NTU y un pH final de 7.38, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 50 mg/L es decir 1 ml se obtuvo una turbiedad final de 1.67 NTU y un pH final de 7.46, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 60 mg/L es decir 1.2 ml se obtuvo una turbiedad final de 3.4 NTU y un pH final de 7.35, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 70 mg/L es decir 1.4 ml, se obtuvo una turbiedad final de 4.21 NTU con un pH final de 7.21, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 80 mg/L es decir 1.6 ml, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 4.88 NTU y un pH final de 7.12, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 90 mg/L es decir 1.8 mL se obtuvo una turbiedad final de 5.74 NTU, y un pH final de 7.01.

En esta sexta prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°2, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 756 NTU es de 50 mg/l.

### **Prueba de Jarras N°7**

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en las pruebas anteriores.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 14: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 983UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 85 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 15: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{70mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{80mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 1.60ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{90mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 1.80 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{100mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.00 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{110mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.20 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{120mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = \frac{200ml}{100ml} = 2.40 ml$$

2. Se realiza la séptima prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°7

Turbiedad inicial= 983 UNT

pH inicial= 7.86

**Tabla 39**

*Prueba de Jarras N°7*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
<b>1</b>	70	1.40	5.40	7.74
<b>2</b>	80	1.60	2.90	7.81
<b>3</b>	90	1.80	3.80	7.38
<b>4</b>	100	2.00	4.05	7.17
<b>5</b>	110	2.20	6.51	7.16
<b>6</b>	120	2.40	6.57	7.18

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la séptima prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 983 NTU la dosis óptima es de 85 mg/L, que convertido en ml la dosis correspondiéndote será 1.70 ml para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 70 mg/L es decir 1.40 ml obteniendo como resultado una turbiedad final de 5.40 NTU y un pH final de 7.74, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 80 mg/L es decir 1.60 ml se obtuvo una turbiedad final de 2.90 NTU y un pH final de 7.81, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 90 mg/L es decir 1.80 ml se obtuvo una turbiedad final de 3.80 NTU y un pH final de 7.38, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 100 mg/L es decir 2.0 ml, se obtuvo una turbiedad final de 4.05 NTU con un pH final de 7.17, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 110 mg/L es decir 2.20 ml, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 6.51 NTU y un pH final de 7.16, y finalmente para

la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 120 mg/L es decir 2.4 ml se obtuvo una turbiedad final de 6.57 NTU, y un pH final de 7.18.

En esta séptima prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°2, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 983 NTU es de 80 mg/l.

### Prueba de Jarras N°8

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en las pruebas anteriores.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 16: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 1743 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 150 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 17: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{105mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.10 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{110mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 2.20 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{115mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 2.30ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{120mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{125mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.50 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000\text{mg}}{\text{l}} \times V = \frac{130\text{mg}}{\text{l}} \times 2000\text{ml}$$

$$V = 2.60 \text{ ml}$$

## 2. Se realiza la octava prueba de jarras

Tal cual las Pruebas de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°8

Turbiedad inicial= 1743 UNT

pH inicial= 7.36

**Tabla 40**

*Prueba de Jarras N°8*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	105	2.10	10.30	7.42
2	110	2.20	8.60	7.28
3	115	2.30	3.80	7.09
4	120	2.40	2.70	6.97
5	125	2.50	1.10	6.92
6	130	2.60	2.90	6.97

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

## 3. Interpretación de resultados

Según la octava prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 1743 NTU la dosis óptima sería 150 mg/L, que convertido en ml la dosis correspondiente es de 3 ml para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 105 mg/L es decir 2.10 ml obteniendo como resultado una turbiedad final de 10.3 NTU y un pH final de 7.42, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 110 mg/L es decir 2.20 ml se obtuvo una turbiedad final de 8.60 NTU y un pH final de 7.28, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 115 mg/L es decir 2.30 ml se obtuvo una turbiedad final de 3.80 NTU y un pH final de 7.09 , para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 120 mg/L es decir 2.4 mL, se obtuvo una turbiedad final de 2.7 NTU con un pH final de 6.97, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 125 mg/L es decir 2.5 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 1.1 NTU y un pH final de 6.92 , y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 130 mg/L es decir 2.60 mL se obtuvo una turbiedad final de 2.9 NTU, y un pH final de 6.97.

En esta octava prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°5, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 1743 NTU es de 125 mg/l.

## Prueba de Jarras N°9

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en las pruebas anteriores.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 18: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 1192UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 98 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 19: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{70mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{75mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 1.50 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{80mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 1.60 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{85mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.70 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{90 mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.80 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{95 mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.90 ml$$

2. Se realiza la décima prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan

posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°9

Turbiedad inicial= 1192 UNT

pH inicial= 7.48

**Tabla 41**  
*Prueba de Jarras N°9*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	70	1.40	7.50	7.34
2	75	1.50	6.94	7.30
3	80	1.60	4.98	7.25
4	85	1.70	3.71	7.10
5	90	1.80	2.40	6.98
6	95	1.90	1.80	6.97

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la novena prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 1192 NTU la dosis óptima sería 98 mg/L, que convertido en ml la dosis correspondiéndote será 1.96 ml para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 70 mg/L es decir 1.40 ml, obteniendo como resultado una turbiedad final de 7.50 NTU y un pH final de 7.34, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 75 mg/L es decir 1.50 ml, se obtuvo una turbiedad final de 6.94 NTU y un pH final de 7.30, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 80 mg/L es decir 1.60 ml se obtuvo una turbiedad final de 4.98 NTU y un pH final de 7.25, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 85 mg/L es decir 1.70 ml,

se obtuvo una turbiedad final de 3.71 NTU con un pH final de 7.10 , para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 90 mg/L es decir 1.80 ml, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 2.40 NTU y un pH final de 6.98 , y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 95 mg/L es decir 1.90 ml se obtuvo una turbiedad final de 1.80 NTU, y un pH final de 6.97.

En esta novena prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°6, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 1192 NTU es de 95 mg/l.

### Prueba de Jarras N°10

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en la Prueba de Jarras N°1.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 20: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 915 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 80 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 21: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{65mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.30 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{70mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 1.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{75mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = \frac{140ml}{100} = 1.40ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{80mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.60 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000\text{mg}}{\text{l}} \times V = \frac{85\text{mg}}{\text{l}} \times 2000\text{ml}$$

$$V = 1.70 \text{ ml}$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000\text{mg}}{\text{l}} \times V = \frac{90\text{mg}}{\text{l}} \times 2000\text{ml}$$

$$V = 1.80 \text{ ml}$$

## 2. Se realiza la onceava prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras N°1, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, , y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°10

Turbiedad inicial= 915 UNT

pH inicial= 7.74

### Tabla 42

*Prueba de Jarras N°10*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	65	1.30	4.65	7.43
2	70	1.40	2.99	7.42
3	75	1.50	1.70	7.36
4	80	1.60	3.34	7.23
5	85	1.70	4.72	7.19

---

6	90	1.80	5.92	7.14
---	----	------	------	------

---

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la décima prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 292 NTU la dosis óptima es de 80 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiente es de 1.60 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 65 mg/L es decir 1.30 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 4.65 NTU y un pH final de 7.43, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 70 mg/L es decir 1.40 mL se obtuvo una turbiedad final de 2.99 NTU y un pH final de 7.42, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 75 mg/L es decir 1.50 mL se obtuvo una turbiedad final de 3.34 NTU y un pH final de 7.36, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 80 mg/L es decir 1.60 mL, se obtuvo una turbiedad final de 3.34 NTU con un pH final de 7.23, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 85 mg/L es decir 1.70 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 4.72 NTU y un pH final de 7.19, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 90 mg/L es decir 1.80 mL se obtuvo una turbiedad final de 5.92 NTU, y un pH final de 7.14.

En esta décima prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°3, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros

de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 915 NTU es de 75 mg/l.

### Prueba de Jarras N°11

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en las pruebas anteriores.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 22: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 456 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 45 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 23: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{25mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 0.50ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{30mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 0.60 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{35mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 0.70 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{40mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 0.80 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{45mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 0.90 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{50mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1 ml$$

2. Se realiza la doceava prueba de jarras

Tal cual las Pruebas de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°11

Turbiedad inicial= 456 UNT

pH inicial= 7.53

### Tabla 43

*Prueba de Jarras N°11*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	25	0.50	4.06	7.32
2	30	0.60	3.92	7.15
3	35	0.70	2.75	7.02
4	40	0.80	1.69	6.96
5	45	0.90	2.04	6.86
6	50	1.00	2.52	6.75

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la onceava prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 456 NTU la dosis óptima es de 45 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiéndote es de 0.90 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 25 mg/L

es decir 0.50 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 4.06 NTU y un pH final de 7.32, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 30 mg/L es decir 0.60 mL se obtuvo una turbiedad final de 3.92 NTU y un pH final de 7.15, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 35 mg/L es decir 0.70 mL se obtuvo una turbiedad final de 2.75 NTU y un pH final de 7.02, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 40 mg/L es decir 0.80 mL, se obtuvo una turbiedad final de 1.69 NTU con un pH final 6.96 , para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 45 mg/L es decir 0.90 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 2.04 NTU y un pH final de 6.86, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 50 mg/L es decir 1 mL se obtuvo una turbiedad final de 2.52 NTU, y un pH final de 6.75.

En esta sexta prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°4, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 456 NTU es de 40 mg/l.

### **Prueba de Jarras N°12**

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en las pruebas anteriores.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 24: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 1340 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 100 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 25: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{85mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.70 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{90mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 1.80 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{95mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 1.90 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{100mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{105mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.10 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{110mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.20 ml$$

2. Se realiza la treceava prueba de jarras

Tal cual las Pruebas de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°12

Turbiedad inicial= 1340 UNT

pH inicial= 7.48

**Tabla 44**

*Prueba de Jarras N°12*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	85	1.70	7.96	7.46
2	90	1.80	5.98	7.34
3	95	1.90	4.87	7.32
4	100	2.00	4.13	7.30
5	105	2.10	5.89	7.27
6	110	2.20	6.79	7.29

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

3. Interpretación de resultados

Según la treceava prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 1340 NTU la dosis óptima es de 100 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiente es 2 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 85 mg/L es decir 1.70 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 7.96 NTU y un pH final de 7.46, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 90 mg/L es decir 1.80 mL se obtuvo una turbiedad final de 5.98 NTU y un pH final de 7.34, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 95 mg/L es decir 1.90 mL se obtuvo una turbiedad final de 4.87 NTU y un pH final de 7.32, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 100 mg/L es decir 2 mL, se obtuvo una turbiedad final de 4.13 NTU con un pH final 7.30, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 105 mg/L es decir 2.10 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 5.89 NTU y un pH final de 7.27, y finalmente para

la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 110 mg/L es decir 2.20 mL se obtuvo una turbiedad final de 6.79 NTU, y un pH final de 7.29.

En esta doceava prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°4, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 1340 NTU es de 100 mg/l, en este caso si existe una coincidencia con los datos brindados por la PTAP.

### Prueba de Jarras N°13

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en las pruebas anteriores.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 26: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 1623 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 135 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 27: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{110mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.20ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{115mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 2.30 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{120mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 2.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{125mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.50 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{130mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.60 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{135mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.70 ml$$

2. Se realiza la catorceava prueba de jarras

Tal cual las Pruebas de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°13

Turbiedad inicial= 1623 UNT

pH inicial= 7.37

#### Tabla 45

*Prueba de Jarras N°13*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
1	110	2.20	5.10	7.30
2	115	2.30	4.20	7.27
3	120	2.40	10.90	7.11
4	125	2.50	17.30	6.84
5	130	2.60	19.80	6.48
6	135	2.70	21.80	6.99

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

3. Interpretación de resultados

Según la treceava prueba de jarra realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se determinó que para un nivel de turbiedad de 1623 NTU la dosis óptima sería 135 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiéndote será 2.70 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 5 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 110 mg/L es decir 2.20 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 5.10 NTU y un pH final de 7.30, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 115 mg/L es decir 2.30 mL se obtuvo una turbiedad final de 4.20 NTU y un pH final de 7.27, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 120 mg/L es decir 2.40 mL se obtuvo una turbiedad final de 10.90 NTU y un pH final de 7.11, para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 125 mg/L es decir 2.50 mL, se obtuvo una turbiedad final de 17.30 NTU con un pH final 6.84, para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 130 mg/L es decir 2.60 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 19.80 NTU y un pH final de 6.48, y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 135 mg/L es decir 2.70 mL se obtuvo una turbiedad final de 21.80 NTU, y un pH final de 6.99.

En esta treceava prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°2, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 1623 NTU es de 115 mg/l.

## Prueba de Jarras N°14

1. Se realizan los cálculos

Nuevamente procedemos a calcular la solución madre, repitiendo lo realizado como primer paso en las pruebas anteriores.

Solución madre. - Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ . Al 10%

*Ecuación 28: Solución de sulfato de aluminio al 10%*

$$\frac{10g}{100ml} \times \frac{1000mg}{1g} \times \frac{1000ml}{1l} = \frac{100000mg}{l}$$

Turbiedad inicial de 1875 UNT la dosis óptima para este nivel turbiedad según la tabla de datos es de 145 mg/l.

Conversión de  $\frac{mg}{l}$  a  $\frac{ml}{l}$

Fórmula:

*Ecuación 29: Concentración y Volumen*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$C_1$ : Cantidad 1

$V_1$ : Volumen 1

$C_2$ : Cantidad 2

$V_2$ : Volumen 2

Volumen de las jarras de 2 L cada una.

Cálculo de dosis para la jarra N°1

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{120mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.40 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°2

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{125mg}{l} \times 2000 ml$$

$$V = 2.50 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°3

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{130mg}{l} \times 2000ml$$

$$v = 2.6ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°4

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{135mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.70 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°5

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{140mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.80 ml$$

Cálculo de dosis para la jarra N°6

$$\frac{100000mg}{l} \times V = \frac{145 mg}{l} \times 2000ml$$

$$V = 2.90ml$$

2. Se realiza la catorceava prueba de jarras

Tal cual la Prueba de Jarras anteriores, se utiliza 6 jarras de 2 L cada una colocando agua turbia en ellas, recolectada previamente, luego se pasa al equipo especializado para medir el pH y el nivel de turbiedad tanto inicial como al final del proceso, y se da solución al sulfato de aluminio sólido para que pase a estado líquido (en la PTAP, adquieren el sulfato de aluminio en sólido y lo utilizan

posteriormente líquido para la purificación del agua por ello hemos realizado los cálculos de conversión para poder saber cuál es la dosis en ml).

Prueba de Jarras N°14

Turbiedad inicial= 1875 UNT

pH inicial= 7.25

#### **Tabla 46**

*Prueba de Jarras N°14*

N° de Jarras	Dosis (mg/l)	Volumen ml	Turbiedad final (NTU)	pH final
<b>1</b>	120	2.40	14.1	7.31
<b>2</b>	125	2.50	10.9	7.27
<b>3</b>	130	2.60	9.67	7.12
<b>4</b>	135	2.70	3.80	7.08
<b>5</b>	140	2.80	4.10	7.01
<b>6</b>	145	2.90	5.30	6.98

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3. Interpretación de resultados

Según la catorceava prueba de jarras realizada, con una suposición según la tabla de datos con la que cuenta actualmente la PTAP (dosis óptima según el nivel de turbiedad), se sabe que para un nivel de turbiedad de 1875 NTU la dosis óptima es de 145 mg/L, que convertido en mL la dosis correspondiéndote será 2.90 mL para una jarra de 2 litros de agua, a partir de ello se hizo el cálculo de dosis para las siguientes 6 jarras, obteniendo los siguientes resultados, para la jarra N° 1 la dosis de sulfato de aluminio a utilizar se determinó que sería de 120 mg/L es decir 2.40 mL obteniendo como resultado una turbiedad final de 14.1 NTU y un pH final de 7.31, en la segunda jarra con una dosis de sulfato de aluminio 125 mg/L es decir 2.50 mL se obtuvo una turbiedad final de 10.9 NTU y un pH final de 7.27, para la jarra N°3 se determinó una dosis de sulfato de aluminio de 130 mg/L es decir 2.60 mL se obtuvo una turbiedad final de 9.67 NTU y un pH final de 7.12,

para la jarra N°4 una dosis de sulfato de aluminio de 135 mg/L es decir 2.70 mL, se obtuvo una turbiedad final de 3.80 NTU con un pH final 7.08 , para la jarra N° 5 una dosis de sulfato de aluminio de 140 mg/L es decir 2.80 mL, en la cual se obtuvo una turbiedad final de 4.10 NTU y un pH final de 7.01 , y finalmente para la jarra N°6 una dosis de sulfato de aluminio de 145 mg/L es decir 2.90 mL se obtuvo una turbiedad final de 5.30 NTU, y un pH final de 6.98.

En última y catorceava prueba de jarras, se logró determinar que la dosis óptima está en la jarra N°4, ya que es la jarra con el menor nivel de turbiedad, siendo este el más adecuado y por lo tanto el óptimo para el consumo humano, asimismo el pH final está dentro de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, ya que el agua para que sea óptima para el consumo humano, debe estar en los parámetros de 6,5 y 8,5 por ende esto nos indica que la dosis de sulfato de aluminio óptima para un nivel de turbidez de 1875 NTU es de 135 mg/l.

### **3.4. Diagnóstico de la Variable Dependiente: Deficiencias en el Proceso**

#### **3.4.1 Diagnóstico de la Dimensión Efectividad en el Proceso**

Para poder determinar una efectividad en el proceso y que se vea reflejado en la disolución de grumos y bajo el nivel de turbidez en el agua dosificada se realizara el método de prueba de jarras, para así poder determinar nuevas tablas, según los diferentes niveles de turbiedad, ya que el nivel de turbiedad va a variar según la estación del año o por causa de un desastre natural como derrumbes o remoción de rocas que son aledañas a los ríos que alimenta la Planta de Tratamiento de Agua Potable, a continuación se detalla los resultados encontrados en cuanto al nivel de turbiedad y pH en 14 pruebas de jarras realizadas con diferentes niveles iniciales de turbiedad.

#### **Prueba de Jarra N°1**

Turbiedad inicial= 2425UNT

pH inicial= 7.03

**Tabla 47**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 1*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	33.30	7.01	150
2	21.80	6.89	155
3	34.80	6.74	160
4	19.40	6.65	165
5	41.20	6.42	170
6	47.90	5.56	175

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 2425 NTU con un pH de 7.03 la dosis óptima de sulfato de aluminio es 165 mg/l para poder obtener un nivel de turbiedad de 19.40 NTU que entre todas las jarras es el más bajo y por ende el óptimo.

### **Prueba de Jarra N°2**

Turbiedad inicial= 2825 UNT

pH inicial= 7.22

**Tabla 48**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 2*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	48.50	6.41	180
2	47.70	6.34	190
3	33.60	6.30	200
4	55.20	5.32	210
5	60.40	4.62	220
6	37.89	4.5	230

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 2825 NTU con un pH de 7.22 la dosis óptima de sulfato de aluminio es 200 mg/l para poder obtener un nivel de turbiedad 4.5 NTU que entre todas las jarras es el más bajo y por ende el óptimo.

### Prueba de Jarra N°3

Turbiedad inicial= 875UNT

pH inicial= 6.85

**Tabla 49**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 3*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	3.23	6.84	45
2	3.34	6.78	50
3	3.56	6.74	55
4	4.06	6.73	60
5	2.34	6.73	65
6	1.50	6.72	70

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 875 NTU con un pH inicial de 6.85 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio seria 70 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.5 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

### Prueba de Jarra N°4

Turbiedad inicial= 564 UNT

pH inicial= 7.18

**Tabla 50**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 4*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	1.60	7.14	35
2	2.87	6.48	40
3	3.96	6.33	45
4	4.87	6.30	50
5	4.91	6.18	55
6	5.07	6.16	60

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 564 NTU con un pH inicial de 7.18 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 35 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.60 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

### Prueba de Jarra N°5

Turbiedad inicial= 2284 UNT

pH inicial= 7.57

#### Tabla 51

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 5*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	47.30	7.50	140
2	29.10	6.61	150
3	12.50	6.65	160
4	8.24	6.77	170
5	10.70	6.82	180
6	13.60	6.93	190

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 2284 NTU con un pH inicial de 7.57 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 170 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 8.24 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

### Prueba de Jarra N°6

Turbiedad inicial= 756 UNT

pH inicial= 7.58

#### Tabla 52

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 6*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
--------------	-----------------------	----------	--------------

1	2.98	7.38	40
2	1.67	7.46	50
3	3.40	7.35	60
4	4.21	7.21	70
5	4.88	7.12	80
6	5.74	7.01	90

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 756 NTU con un pH inicial de 7.58 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 50 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.67 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

### **Prueba de Jarra N°7**

Turbiedad inicial= 983 UNT

pH inicial= 7.86

#### **Tabla 53**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 7*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	5.40	7.74	70
2	2.90	7.81	80
3	3.80	7.38	90
4	4.05	7.17	100
5	6.51	7.16	110
6	6.57	7.18	120

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 983 NTU con un pH inicial de 7.86 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 80 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 2.90 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

### **Prueba de Jarra N°8**

Turbiedad inicial= 1743 UNT

pH inicial= 7.36

**Tabla 54**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 8*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	10.30	7.42	105
2	8.60	7.28	110
3	3.80	7.09	115
4	2.70	6.97	120
5	1.10	6.92	125
6	2.90	6.97	130

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1743 NTU con un pH inicial de 7.36 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 125 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.10 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

**Prueba de Jarra N°9**

Turbiedad inicial= 1192 UNT

pH inicial= 7.48

**Tabla 55**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 9*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	7.50	7.34	70
2	6.94	7.30	75
3	4.98	7.25	80
4	3.71	7.10	85
5	2.40	6.98	90
6	1.80	6.97	95

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1192 NTU con un pH inicial de 7.48 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 95 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.80 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

### Prueba de Jarra N°10

Turbiedad inicial= 915 UNT

pH inicial= 7.74

#### Tabla 56

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 10*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	4.65	7.43	65
2	2.99	7.42	70
3	1.70	7.36	75
4	3.34	7.23	80
5	4.72	7.19	85
6	5.92	7.15	90

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 292 NTU con un pH inicial de 7.48 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 75 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.7 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

### Prueba de Jarra N°11

Turbiedad inicial= 456 UNT

pH inicial= 7.53

#### Tabla 57

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 11*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	4.06	7.32	25
2	3.92	7.15	30
3	2.75	7.02	35
4	1.69	6.96	40
5	2.04	6.86	45
6	2.52	6.75	50

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 456 NTU con un pH inicial de 7.53 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 40 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.69 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

### Prueba de Jarra N°12

Turbiedad inicial= 1340 UNT

pH inicial= 7.48

**Tabla 58**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 12*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	7.46	Dosis (mg/l)
1	7.96	7.34	85
2	5.98	7.32	90
3	4.87	7.30	95
4	4.13	7.27	100
5	5.89	7.29	105
6	6.79	7.46	110

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1340 NTU con un pH inicial de 7.48 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 100 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 4.13 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

### Prueba de Jarra N°13

Turbiedad inicial= 1623 UNT

pH inicial= 7.37

**Tabla 59**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 13*

N° de Jarras	Turbiedad final (NTU)	pH final	Dosis (mg/l)
1	5.10	7.30	110
2	4.20	7.27	115

<b>3</b>	10.90	7.11	120
<b>4</b>	17.30	6.84	125
<b>5</b>	19.80	6.48	130
<b>6</b>	21.80	6.99	135

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1623 NTU con un pH inicial de 7.37 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 115 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 4.20 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

#### **Prueba de Jarra N°14**

Turbiedad inicial= 1875 UNT

pH inicial= 7.37

**Tabla 60**

*Turbiedad Final (NTU) Y pH final de la prueba de Jarra N° 14*

<b>N° de Jarras</b>	<b>Turbiedad final (NTU)</b>	<b>pH final</b>	<b>Dosis (mg/l)</b>
<b>1</b>	14.1	7.31	120
<b>2</b>	10.9	7.27	125
<b>3</b>	9.67	7.12	130
<b>4</b>	3.80	7.08	135
<b>5</b>	4.10	7.01	140
<b>6</b>	5.30	6.98	145

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1875 NTU con un pH inicial de 7.37 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 135 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 3.80 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra.

#### **3.4.2. Diagnóstico de la dimensión eficiencia en el proceso**

Para poder ver reflejado la eficiencia en el proceso a través de la dosis óptima de sulfato de aluminio reflejado en el nivel de turbiedad y pH final del agua dosificada. Va ser necesario actualizar la tabla de dosis óptimas según el nivel de turbiedad con la que trabaja actualmente la Planta de Tratamiento de Agua Potable, haciendo una tabla sencilla

de entender por el trabajador pero que contenga toda la información que se necesita para aplicar la dosis óptima de sulfato de aluminio, obteniendo un nivel de turbiedad y un pH óptima para el consumo humano a la vez que no tenga material, que este viene siendo provocado por la sobre dosis de sulfato de aluminio, a la vez si se aplica una sobre dosis de sulfato de aluminio altera el pH y se va necesitar hidróxido de cal para estabilidad las partículas del agua y el pH sea el ideal, esto con lleva a un costo adicional para la PTAP obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 61**

*Tabla de dosis óptima según el nivel de turbiedad*

Nivel de turbiedad Inicial (NTU)	Nivel de turbiedad final (NTU)	pH	Dosis Óptima(mg/l)
2425 NTU	19.4 NTU	6.65	165 mg/l
2825 NTU	33.6 NTU	6.30	200 mg/l
875 NTU	1.5 NTU	6.72	70 mg/l
564 NTU	1.6 NTU	7.14	35 mg/l
2284 NTU	8.24 NTU	6.77	170 mg/l
756 NTU	1.67 NTU	7.46	50 mg/l
983 NTU	2.9 NTU	7.81	80 mg/l
1743 NTU	1.1 NTU	6.92	125 mg/l
1192 NTU	1.8 NTU	6.97	95 mg/l
915 NTU	1.7 NTU	7.36	75 mg/l
456 NTU	1.69 NTU	6.96	40 mg/l
1340 NTU	4.13 NTU	7.30	100 mg/l
1623 NTU	4.2 NTU	7.27	115 mg/l

---

1875 NTU

3.8 NTU

7.08

135 mg/l

---

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 2425 NTU con un pH de 7.03 la dosis óptima de sulfato de aluminio va a ser 165 mg/l para poder obtener un nivel de turbiedad de 19.4 NTU que entre todas las jarras es el más bajo y por ende el más óptimo, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 2825 NTU con un pH inicial de 7.022 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 200 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 33.6 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 875 NTU con un pH inicial de 6.85 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 70 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.5 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 564 NTU con un pH inicial de 7.18 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 35 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.6 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 2284 NTU con un pH inicial de 7.57 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 170 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 8.24 NTU que es el nivel de

turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 756 NTU con un pH inicial de 7.58 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 50 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.67 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 983 NTU con un pH inicial de 7.86 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 80 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 2.90 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1743 NTU con un pH inicial de 7.36 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 125 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.1 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1192 NTU con un pH inicial de 7.48 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 95 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.8 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 915 NTU con un pH inicial de 7.48 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 75 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.7 NTU que es el nivel de

turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 456 NTU con un pH inicial de 7.53 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 40 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 1.69 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1340 NTU con un pH inicial de 7.48 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 100 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 4.13 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1623 NTU con un pH inicial de 7.37 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 115 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 4.2 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

Interpretación: Para un nivel de turbiedad de 1875 NTU con un pH inicial de 7.25 se determinó que la dosis óptima de sulfato de aluminio sería 135 mg/l, para poder obtener un nivel de turbiedad final de 3.08 NTU que es el nivel de turbiedad más bajo entre las 6 pruebas de jarra, así mismo el pH está dentro de los parámetros permitidos para el consumo humano.

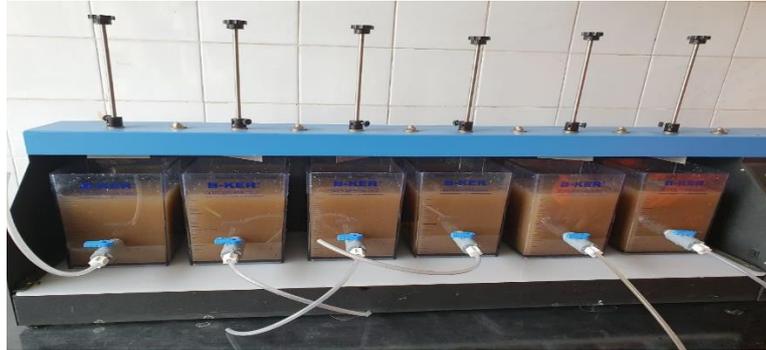
### ***3.4.3. Diagnóstico de la dimensión remoción de sólidos sedimentales***

Para poder visualizar la remoción de sólidos sedimentales, se realiza la medición de turbiedad inicial y la turbiedad final en cada prueba de jarra que se realizara al final nos

va a arrojar cuál de las 6 jarras que se realiza en cada prueba tiene menos sólidos  
sedimentales y ello nos indica que la dosis de sulfato de aluminio aplicada es la óptima.

### **Ilustración 1**

*Prueba de jarra antes de aplicar la dosis de sulfato de aluminio*



Fuente: PTAP en el Norte del Perú

### **Ilustración 2**

*Durante la sedimentación*



Fuente: PTAP en el Norte del Perú

### **Ilustración 3**

*Prueba de jarra casi al final de la sedimentación*



Fuente: PTAP en el Norte del Perú

#### Ilustración 4

*Prueba de jarras al final de la sedimentación*



Fuente: PTAP en el Norte del Perú

#### 3.4.4. Diagnóstico de la dimensión generación de materia residual

En la siguiente tabla se dará a conocer cuál es el nivel de turbiedad más alto según la dosis aplicada para cada prueba de jarra realizada, esta nos indicara que no es la dosis óptima para el nivel de turbiedad que estamos trabajando, por eso nos está arrojando esa cantidad de turbiedad residual.

**Tabla 62**

*Turbiedad residual*

N° de jarras	Turbiedad Inicial	Turbiedad final	Dosis mg/l
1	2425 NTU	58.3NTU	165 mg/l
2	2825 NTU	68.5 NTU	200 mg/l
3	875 NTU	8.5 NTU	70 mg/l
4	564 NTU	14.7 NTU	35 mg/l
5	2284 NTU	13.6 NTU	170 mg/l
6	756 NTU	12.5 NTU	50 mg/l
7	983 NTU	8.83 NTU	80 mg/l
8	1743 NTU	20.7 NTU	125 mg/l
9	1192 NTU	22.4 NTU	95 mg/l
10	915 NTU	8.27 NTU	75 mg/l
11	456 NTU	8.12 NTU	40 mg/l
12	1340 NTU	7.82 NTU	100 mg/l
13	1623 NTU	9.02 NTU	115 mg/l
14	1875 NTU	7.69 NTU	135 mg/l

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.5. Matriz de Operacionalización de Variables Resultados Diagnóstico

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Resultados
Variable independiente: Proceso de coagulación-floculación	Existen diferentes problemáticas en cuanto al nivel de efectividad de los procesos de potabilización debido a que las condiciones del agua a tratar no siempre son las mismas, por lo que afecta el resultado de cada etapa, esto se puede ver especialmente en el proceso de Coagulación y Floculación, en el cual el nivel de efectividad se ve afectado debido a que la dosis de coagulante que se aplica está calculada de acuerdo con unas condiciones iniciales. (Barajas C. y León. 2015)	Partículas en suspensión	Disolución de sustancias suspendidas	Con el agua ya dosificada se siguen observando cuando se realiza una sobredosificación o le falta más dosis haciendo que los flocs no se formen de manera correcta y la turbidez del agua se mantenga aun presente notablemente.
		Turbidez	Inicial y final (NTU)	Según el nivel de turbidez inicial, se debe agregar la dosis de sulfato de aluminio para disminuir la misma, por lo que se vuelve a medir al final del proceso para determinar si será necesario utilizar producto adicional para seguir disminuyendo el nivel de turbidez y este sea el óptimo para el consumo humano.
		Grado de acidez	pH	Para el pH se debe de tomar la muestra tanto inicial como final, ya que depende de la dosis de sulfato de aluminio, debido a que a mayor dosis menor será el nivel de pH en el agua según lo inicialmente medido. Además, es necesario recalcar que, a mayor turbidez, mayor será la dosis de sulfato de aluminio por lo que reducirá el nivel de pH y se requerirá de hidróxido de cal para estabilizar el pH y este sea apto para el consumo humano.
		Dosis óptima	Cantidad de coagulantes requeridos y cantidad final de turbidez y pH.	Se establece que la dosis óptima es aquella que disminuirá la turbidez dentro de los parámetros para el consumo humano, sin afectar tanto al pH, es decir que este, también esté dentro de los parámetros establecidos para que sea el óptimo para el consumo humano.

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Resultados
Variable dependiente: Deficiencias en el proceso	Aunque no siempre se logra el control de los factores críticos de las organizaciones en el corto plazo, en el mediano o largo plazo es posible, lo ideal es identificarlos y comenzar a trabajarlos con un horizonte claro y bien fundamentado, que conlleve a la formulación de estrategias adecuadas para solucionar las deficiencias encontradas (Gómez O. 2011)	Efectividad del proceso	Disolución de grumos y bajo el nivel de turbidez en el agua dosificada	Se determina si hubo efectividad en proceso cuando al final del tratamiento, se establece la turbidez adecuada y el pH óptimo. En otras palabras, sin la necesidad de polímero catiónico para disminuir la turbidez residual, es decir después de haber aplicado el sulfato de aluminio; y sin hidróxido de cal para estabilizar el pH.
		Eficiencia del proceso	Dosis óptima de sulfato de aluminio reflejado en el nivel de turbiedad y pH final del agua dosificada.	Se determina que hubo eficiencia en proceso cuando se logra determinar cuál es la dosis óptima para los diferentes niveles de turbiedad del agua captada, así se evita sobre tiempos y sobre todo que ya no se utilicen otros químicos para llegar a los parámetros establecidos tanto para la turbiedad como para el pH.
		Remoción de sólidos sedimentales	Porcentaje de la cantidad de sólidos removidos (%)	A menores sólidos al final de la dosificación indica que dicha jarra contiene la dosis óptima para ese nivel de turbiedad.
		Generación de materia residual	Generación de turbidez residual por falta de dosis.	La turbidez final es un indicador de la dosis aplicada al inicio del tratamiento, a mayor turbiedad quiere decir que la dosis no fue la opima, es decir fue deficiente.

### 3.5.1. Resultados para la Variable Independiente: Proceso de Coagulación-Floculación

#### 3.5.1.1. Resultados para la Dimensión de Partículas en Suspensión

*Tabla 63*

*Resultados para la dimensión partículas en suspensión*

VAIABLE	DIMENSION	N° Prueba de jarras	RESULTADOS: Percepción visible de partículas suspendidas					
			Jarras					
Variable independiente: Proceso de coagulación- floculación	Partículas en suspensión		1	2	3	4	5	6
		1	SI	SI	SI	SI	SI	SI
		2	SI	SI	SI	SI	SI	SI
		3	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		4	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		5	SI	SI	SI	NO	SI	SI
		6	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		7	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		8	SI	NO	NO	NO	NO	NO
		9	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		10	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		11	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		12	NO	NO	NO	NO	NO	NO
		13	NO	NO	SI	SI	SI	SI
		14	SI	SI	NO	NO	NO	NO

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

#### 3.5.1.2. Resultados para la dimensión turbidez

**Tabla 64**

*Resultados para la dimensión turbidez*

VARIABLE	DIMENSION	N°	RESULTADOS: TUBIDEZ						
			Turbiedad inicial (NTU)	1	2	Jarras			6
<b>Variable independiente: Proceso de coagulación-floculación</b>	Turbidez	Prueba de jarras							
		1	2425	33.30	21.80	34.80	19.40	41.20	47.90
		2	2825	48.50	47.70	33.60	55.20	60.40	37.89
		3	875	3.23	3.34	3.56	4.06	2.34	1.50
		4	564	1.60	2.87	3.96	4.87	4.91	5.07
		5	2284	47.30	29.10	12.50	8.24	10.70	13.60
		6	756	2.98	1.67	3.40	4.21	4.88	5.74
		7	983	5.40	2.90	3.80	4.05	6.51	6.57
		8	1743	10.30	8.60	3.80	2.70	1.10	2.90
		9	1192	7.50	6.94	4.98	3.71	2.40	1.80
		10	915	4.65	2.99	1.70	3.34	4.72	5.92
		11	456	4.06	3.92	2.75	1.69	2.04	2.52
		12	1340	7.96	5.98	4.87	4.13	5.89	6.79
		13	1623	5.10	4.20	10.90	17.30	19.80	21.80
14	1875	14.10	10.90	9.67	3.80	4.10	5.30		

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.5.1.3. Resultados para la dimensión grado de acidez

**Tabla 65**

*Resultados para la dimensión grado de acidez.*

DIMENSION	N° Prueba de jarras	RESULTADOS: Grado de acidez						
		pH inicial	1	2	3	4	5	6
Grado de acidez	1	7.03	7.01	6.89	6.74	6.65	6.42	5.56
	2	7.22	6.41	6.34	6.30	5.32	4.62	4.50
	3	6.85	6.84	6.78	6.74	6.73	6.73	6.72
	4	7.18	7.14	6.48	6.33	6.30	6.18	6.16
	5	7.57	7.50	6.61	6.65	6.77	6.82	6.93
	6	7.58	7.38	7.46	7.35	7.21	7.12	7.01
	7	7.86	7.74	7.81	7.38	7.17	7.16	7.18
	8	7.36	7.42	7.28	7.09	6.97	6.92	6.97
	9	7.48	7.34	7.30	7.25	7.10	6.98	6.97
	10	7.74	7.43	7.42	7.36	7.23	7.19	7.14
	11	7.53	7.32	7.15	7.02	6.96	6.86	6.75
	12	7.48	7.46	7.34	7.32	7.30	7.27	7.29
	13	7.37	7.30	7.27	7.11	6.84	6.48	6.99
	14	7.25	7.31	7.27	7.12	7.08	7.01	6.98

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.5.1.4. Resultados para la dosis óptima

Tabla 66

N.º de Jarra	Turbiedad Inicial UNT	PH inicial	Dosis sugerida por PTAP	1			2			3			4			5			6			DOSIS ÓPTIMA
				DOSIS	pH	T	DOSIS	pH	T	DOSIS	pH	T	DOSIS	pH	T	DOSIS	pH	T	DOSIS	pH	T	
1	2425	7.03	210	150	7.01	33.30	155	6.89	21.80	160	6.74	34.8	<b>165</b>	<b>6.65</b>	<b>19.4</b>	170	6.42	41.2	175	5.56	47.9	165
2	2825	7.22	240	180	6.41	48.50	190	6.34	47.70	<b>200</b>	<b>6.30</b>	<b>33.6</b>	210	5.32	55.2	220	4.62	60.4	230	4.50	37.9	200
3	875	6.85	75	45	6.84	3.23	50	6.78	3.34	55	6.74	3.6	60	6.73	4.1	65	6.73	2.3	<b>70</b>	<b>6.72</b>	<b>1.5</b>	70
4	564	7.18	45	<b>35</b>	<b>7.14</b>	<b>1.60</b>	40	6.48	2.87	45	6.33	4.0	50	6.30	4.9	55	6.18	4.9	60	6.16	5.1	35
5	2284	7.57	190	140	7.50	47.30	150	6.61	29.10	160	6.65	12.5	<b>170</b>	<b>6.77</b>	<b>8.2</b>	180	6.82	10.7	190	6.93	13.6	170
6	756	7.58	65	40	7.38	2.98	<b>50</b>	<b>7.46</b>	<b>1.67</b>	60	7.35	3.4	70	7.21	4.2	80	7.12	4.9	90	7.01	5.7	50
7	983	7.86	85	70	7.74	5.40	<b>80</b>	<b>7.81</b>	<b>2.90</b>	90	7.38	3.8	100	7.17	4.1	110	7.16	6.5	120	7.18	6.6	80
8	1743	7.36	150	105	7.42	10.30	110	7.28	8.60	115	7.09	3.8	120	6.97	2.7	<b>125</b>	<b>6.92</b>	<b>1.1</b>	130	6.97	2.9	125
9	1192	7.48	98	70	7.34	7.50	75	7.30	6.94	80	7.25	5.0	85	7.10	3.7	90	6.98	2.4	<b>95</b>	<b>6.97</b>	<b>1.8</b>	95
10	915	7.74	80	65	7.43	4.65	70	7.42	2.99	<b>75</b>	<b>7.36</b>	<b>1.7</b>	80	7.23	3.3	85	7.19	4.7	90	7.14	5.9	75
11	456	7.53	45	25	7.32	4.06	30	7.15	3.92	35	7.02	2.8	<b>40</b>	<b>6.96</b>	<b>1.7</b>	45	6.86	2.0	50	6.75	2.5	40
12	1340	7.48	100	85	7.46	7.96	90	7.34	5.98	95	7.32	4.9	<b>100</b>	<b>7.30</b>	<b>4.1</b>	105	7.27	5.9	110	7.29	6.8	100
13	1623	7.37	135	110	7.30	5.10	<b>115</b>	<b>7.27</b>	<b>4.20</b>	120	7.11	10.9	125	6.84	17.3	130	6.48	19.8	135	6.99	21.8	115
14	1875	7.25	145	120	7.31	14.10	125	7.27	10.90	130	7.12	9.7	<b>135</b>	<b>7.08</b>	<b>3.8</b>	140	7.01	4.1	145	6.98	5.3	135

*Resultados para la dosis óptima*

### 3.5.2. Resultados para la variable dependiente: Deficiencias en el proceso

#### 3.5.2.1. Resultados para la dimensión efectividad del proceso

Tabla 67

Resultados dimensión efectividad del proceso

VARIABLE	DIMENSION	N° Prueba de jarras	RESULTADOS: Dosis óptima													
			Turbiedad inicial (NTU)	pH inicial	Jarras											
					1		2		3		4		5		6	
Variable dependiente: Deficiencias en el proceso	Efectividad del proceso	1	2425	7.03	33.30	7.01	21.80	6.89	34.8	6.74	19.4	6.65	41.2	6.42	47.9	5.56
		2	2825	7.22	48.50	6.41	47.70	6.34	33.6	6.30	55.2	5.32	60.4	4.62	37.9	4.50
		3	875	6.85	3.23	6.84	3.34	6.78	3.6	6.74	4.1	6.73	2.3	6.73	1.5	6.72
		4	564	7.18	1.60	7.14	2.87	6.48	4.0	6.33	4.9	6.30	4.9	6.18	5.1	6.16
		5	2284	7.57	47.30	7.50	29.10	6.61	12.5	6.65	8.2	6.77	10.7	6.82	13.6	6.93
		6	756	7.58	2.98	7.38	1.67	7.46	3.4	7.35	4.2	7.21	4.9	7.12	5.7	7.01
		7	983	7.86	5.40	7.74	2.90	7.81	3.8	7.38	4.1	7.17	6.5	7.16	6.6	7.18
		8	1743	7.36	10.30	7.42	8.60	7.28	3.8	7.09	2.7	6.97	1.1	6.92	2.9	6.97
		9	1192	7.48	7.50	7.34	6.94	7.30	5.0	7.25	3.7	7.10	2.4	6.98	1.8	6.97
		10	915	7.74	4.65	7.43	2.99	7.42	1.7	7.36	3.3	7.23	4.7	7.19	5.9	7.14
		11	456	7.53	4.06	7.32	3.92	7.15	2.8	7.02	1.7	6.96	2.0	6.86	2.5	6.75
		12	1340	7.48	7.96	7.46	5.98	7.34	4.9	7.32	4.1	7.30	5.9	7.27	6.8	7.29
		13	1623	7.37	5.10	7.30	4.20	7.27	10.9	7.11	17.3	6.84	19.8	6.48	21.8	6.99
		14	1875	7.25	14.10	7.31	10.90	7.27	9.7	7.12	3.8	7.08	4.1	7.01	5.3	6.98

Fuente: Elaborado por los investigadores

### 3.5.2.2. Resultados para la dimensión eficiencia del proceso

**Tabla 68**

*Resultados dimensión eficiencia del proceso*

Variable	Dimensión	Resultados			
Variable dependiente: Deficiencias en el proceso	Eficiencia del Proceso	Nivel de turbiedad inicial (NTU)	Nivel de turbiedad final (NTU)	pH	Dosis Óptima (mg/l)
		2425 NTU	19.4 NTU	7.03	165 mg/l
		2825 NTU	33.6 NTU	7.22	200 mg/l
		875 NTU	1.5 NTU	6.85	70 mg/l
		564 NTU	1.6 NTU	7.18	35 mg/l
		2284 NTU	8.24 NTU	7.57	170 mg/l
		756 NTU	1.67 NTU	7.58	50 mg/l
		983 NTU	2.9 NTU	7.86	80 mg/l
		1743 NTU	1.1 NTU	7.36	125 mg/l
		1192 NTU	1.8 NTU	7.48	95 mg/l
		915 NTU	1.7 NTU	7.74	75 mg/l
		456 NTU	1.69 NTU	7.53	40 mg/l
		1340 NTU	4.13 NTU	7.48	100 mg/l
		1623 NTU	4.2 NTU	7.37	115 mg/l
		1875 NTU	3.8 NTU	7.25	135 mg/l

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.5.2.3. Resultados para la dimensión generación de material residual de turbiedad

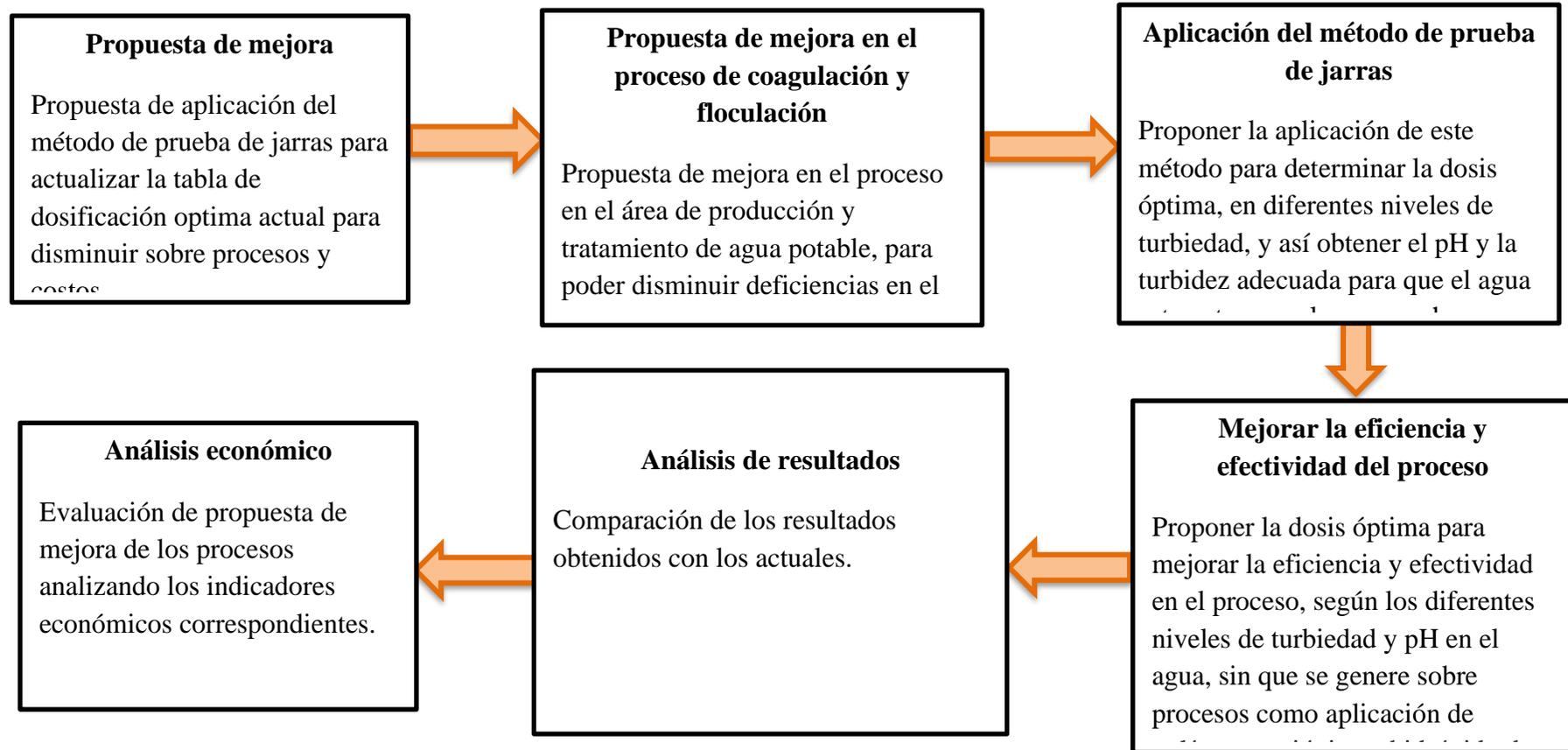
**Tabla 69**

*Resultados de material residual de turbiedad*

VARIABLE	DIMENSION	RESULTADOS			
		N° de jarras	Turbiedad Inicial	Turbiedad final	Dosis mg/l
		1	2425	47.9 NTU	165 mg/l
		2	2825	60.4 NTU	200 mg/l
		3	875	4.06 NTU	70 mg/l
		4	564	5.07 NTU	35 mg/l
<b>Variable dependiente: Deficiencias en el proceso</b>	Generación de material residual de turbiedad	5	2284	47.3 NTU	170 mg/l
		6	756	5.74 NTU	50 mg/l
		7	983	6.57 NTU	80 mg/l
		8	1743	10.3 NTU	125 mg/l
		9	1192	7.5 NTU	95 mg/l
		10	915	5.92 NTU	75 mg/l
		11	456	4.06 NTU	40 mg/l
		12	1340	7.96 NTU	100 mg/l
		13	1623	21.8 NTU	115 mg/l
		14	1875	14.1 NT	135 mg/l

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.6. Diseño y desarrollo de la propuesta de mejora



### **3.7. Desarrollo de la propuesta de mejora**

#### **3.7.1. Método empleado para mejorar la dosis óptima**

##### **3.7.1.1 Prueba de jarras**

La aplicación del método de prueba de jarras se considera para la eliminación y reducción de sobre procesos y sobrecostos en el proceso de coagulación y floculación en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, ya que después de haber realizado diferentes pruebas de jarras con diferentes niveles de turbiedad y pH se observó que cuando no se aplica la dosis correcta de sulfato de aluminio en el proceso de producción y tratamiento de agua potable para el consumo humano se generan sobre procesos como:

- Si se aplica una sobredosis de sulfato de aluminio en caso de obtener un nivel de turbidez óptima, el pH no va a estar dentro de los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para el consumo humano y se va a requerir de hidróxido de cal para estabilizar el pH.
- Si se aplica una sobredosis de sulfato de aluminio también puede ocurrir que los flocs no se formen debido a que las cargas del agua se vuelven positivas, generando que se mantenga la turbidez a un nivel mayor por lo que ni la turbiedad ni el pH estarían dentro de los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano.
- Si se aplica una dosis escasa en sulfato de aluminio los flocs no se van a formar debido a que las cargas del agua se van a mantener negativas y solo algunas positivas, generando que la turbidez en el agua se mantenga alta y fuera de los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano.

- Si se aplica una dosis escasa en sulfato de aluminio se genera la utilización de polímero catiónico para que actuase como floculante y se generen los flocs para reducir los niveles de turbiedad en el agua y este dentro de los parámetros para el consumo humano.

Es por ello, que se requiere de una tabla de dosis óptima para diferentes niveles de turbidez en la cual el trabajador pueda medir el nivel de turbiedad del agua que se está tratando para que al buscar en la tabla y encontrar la dosis óptima de sulfato de aluminio se pueda aplicar de una manera más rápida y así obtener un nivel de turbiedad óptimo para el consumo humano y el pH se encuentre dentro de los parámetros establecidos.

### **3.7.2. *Propuesta de mejora en el proceso de coagulación- floculación***

Para la propuesta de mejorar en el proceso de coagulación y floculación se busca determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio para los diferentes niveles teniendo en cuenta el nivel de turbiedad y pH, obteniendo así al final de la producción y potabilización de agua potable, un agua óptima para el consumo humano. De tal modo que se considera que el agua es óptima cuando el nivel de turbiedad es apto para el consumo humano y el pH se encuentra dentro de los parámetros establecidos, todo ello con el fin de reducir los sobre procesos que se pueden dar por la sobredosis o los posibles problemas que se presente, asimismo esto conllevaría a reducir los costos de en mano de obra, entre otros.

### **3.7.3. *Aplicación del método prueba de jarra***

Con la aplicación de método de prueba de jarras se busca definir la dosis óptima para los diferentes niveles de turbiedad del agua ya que estos varían según la estación del año o por alteraciones climatológicas que están fuera del control de la PTAP, en este caso lo que buscamos mejorar en la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del

Perú es la optimización del proceso de coagulación y floculación en su tratamiento, esto se va a lograr mediante la aplicación de pruebas de jarras donde se toma muestras de diferentes niveles de turbiedad, los cuales serán divididos en muestras de 6 jarras, en donde para cada una se utilizará diferentes dosis de sulfato de aluminio obteniendo al final de la prueba de jarras, la jarra con menor turbiedad y en la que el pH esté dentro de los parámetros establecidos indicándonos que esa es la dosis óptima para el nivel de turbiedad inicial encontrada en la muestra, asimismo se repetirá el mismo proceso para los diferentes niveles de turbiedad. Finalmente, se elaborará una tabla de dosis óptima donde el trabajador pueda aplicar sin dificultad la dosis correspondiente según el nivel de turbiedad que tenga el agua captada.

#### **3.7.4. *Mejorar la eficiencia y efectividad del proceso***

Se mejora la eficiencia y la efectividad en el proceso determinando al final del tratamiento que exista un nivel de turbiedad y pH adecuado para el consumo humano. Es decir, reduciendo la utilización de polímero catiónico para disminuir la turbidez residual, así como el hidróxido de cal para la estabilización del pH, evitando sobre procesos y sobre todo que ya no se adicionen químicos para llegar a los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del agua potable para el consumo humano.

#### **3.7.5. *Análisis de Resultados***

##### **3.7.5.1. *Análisis de Resultados para la Variable Independiente: Proceso de Coagulación-Floculación***

###### **3.7.5.1.1. *Análisis de resultados para la dimensión partículas en suspensión***

**Tabla 70**

*Análisis de resultados para la dimensión partículas en suspensión*

Prueba N°	Situación Actual			Propuesta de mejora		
	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)	Percepción visible de partículas suspendidas	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)	Percepción visible de partículas suspendidas
1	210	27.3	SI	165	19.4	SI
2	240	38.5	SI	200	33.6	SI
3	75	5.3	NO	70	1.5	NO
4	45	4.7	NO	35	1.6	NO
5	190	13.6	SI	170	8.2	NO
6	65	2.59	NO	50	1.67	NO
7	85	3.83	NO	80	2.9	NO
8	150	3.7	NO	125	1.1	NO
9	98	2.09	NO	95	1.8	NO
10	80	1.98	NO	75	1.7	NO
11	45	2.92	NO	40	1.7	NO
12	100	4.1	NO	100	4.1	NO
13	135	4.79	NO	115	4.2	NO
14	145	7.69	NO	135	3.8	NO
<b>TOTAL</b>		3	21%	<b>TOTAL</b>	2	14%

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Como se puede apreciar en el cuadro donde se observa la situación actual de la PTAP en cuanto a la percepción visible de partículas suspendidas, de las 14 pruebas que se realizaron, 3 presentaron que sí se lograba percibir visualmente las partículas suspendidas. Aplicando la mejora, es decir al hacer nuevas pruebas de jarras para determinar la dosis óptima para el agua cruda actual, se notó una mejora, debido a que se redujo la percepción de partículas suspendidas a 2, con una notoria diferencia en la turbidez final de las catorce pruebas finales de la propuesta de mejora, en otras palabras, se logró obtener una mejora del 7% en cuanto a las partículas suspendidas

que se aprecian visualmente en el agua, por lo que se redujo a 14% de un 21% inicial.

### 3.7.5.1.2. *Análisis de resultados para la dimensión turbidez*

**Tabla 71**

*Análisis de resultados para la dimensión nivel de turbidez*

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA		
<b>Turbiedad Inicial (NTU)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Turbiedad Final (NTU)</b>	<b>Turbiedad Inicial (NTU)</b>	<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Turbiedad Final (NTU)</b>
<b>2425</b>	210	27.30	2425	165	19.40
<b>2825</b>	240	38.50	2425	200	33.60
<b>875</b>	75	5.30	875	70	1.50
<b>564</b>	45	4.70	564	35	1.60
<b>2284</b>	190	13.60	2284	170	8.20
<b>756</b>	65	2.59	909	50	1.67
<b>983</b>	85	3.83	983	80	2.90
<b>1743</b>	150	3.70	1743	125	1.10
<b>1192</b>	98	2.09	1192	95	1.80
<b>915</b>	80	1.98	292	75	1.70
<b>456</b>	45	2.92	456	40	1.70
<b>1340</b>	100	4.10	1340	100	4.10
<b>1623</b>	135	4.79	1875	115	4.20
<b>1875</b>	145	7.69	1875	135	3.80
<b>PROMEDIO</b>		8.79	<b>PROMEDIO</b>		6.23

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Como se puede observar en el cuadro la turbidez final del estado actual se mantiene con nivel alto en la mayoría de las pruebas después de haber colocado el sulfato de aluminio, siendo 5 pruebas de 14, mayores al máximo permisible (5 NTU), con un promedio de 8.79 NTU, dando un notorio cambio realizando las nuevas pruebas de jarras, en donde se obtuvo un nivel de turbiedad final mucho más bajo, con un promedio de 6.23 NTU de las 14 pruebas que se realizaron, es decir, 11 de las 14 pruebas fueron óptimas para el consumo humano.

### 3.7.5.1.3. *Análisis de resultados para la dimensión grado de acidez*

Como se puede observar en la tabla 72 en la parte de estado actual podemos notar que el pH al aplicar cierta dosis de sulfato de aluminio tiende a bajar, por ello es muy importante que se mantenga dentro de los parámetros establecidos en el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano, los cuales deben estar entre 6.5 a 8.5. En las 14 muestras, se determinó que 11 estuvieron en condiciones óptimas, es decir del 100% el 78.57% estuvieron entre los parámetros establecidos. Por ello, al aplicar el método de jarras realizando 14 pruebas, se obtuvo las 14 pruebas en condiciones óptimas, es decir el 100% estuvo cumpliendo con los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano.

**Tabla 72**

*Análisis de resultados para la dimensión grado de acidez*

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA		
pH inicial	Dosis(mg/L)	pH final	pH inicial	Dosis(mg/L)	pH final
7.03	210	5.21	7.03	165	6.7
7.22	240	5.05	7.22	200	6.3
6.85	75	6.58	6.85	70	6.7
7.18	45	7.08	7.18	35	7.14
7.57	190	5.93	7.57	170	6.8
7.58	65	7.36	7.58	50	7.46
7.86	85	7.76	7.86	80	7.81
7.36	150	7.43	7.36	125	6.9
7.48	98	7.18	7.48	95	7.0
7.74	80	7.34	7.74	75	7.4
7.53	45	6.83	7.53	40	7.0
7.48	100	7.31	7.48	100	7.3
7.37	135	7.02	7.37	115	7.27
7.25	145	6.81	7.25	135	7.1
<b>TOTAL ÓPTIMO</b>		<b>11</b>	<b>TOTAL ÓPTIMO</b>		<b>14</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

#### 3.7.5.1.4. *Análisis de resultados para la dimensión dosis óptima*

La PTAP cuenta con una tabla estandarizada en donde los trabajadores pueden observar la dosis que deben aplicar al agua cruda cuando están a cierto nivel de turbiedad, como se observa en la parte superior en el estado actual de la PTAP; sin embargo, la dosificación óptima varia debido a que al aplicar el sulfato de aluminio si bien disminuye la turbidez, también disminuye el pH y se debería de realizar pruebas de jarras para establecer una mejor dosis. Por ello al aplicar el método de jarras para mejorar el sistema de dosificación y actualizar su tabla de dosis podemos notar que se reduce el nivel de turbiedad y el pH se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del agua para el consumo humano, debido a que se encontró una mejor dosis la cual es la óptima para los distintos niveles de turbiedad presentes en el agua cruda.

**Tabla 73**

*Análisis de resultados para la dimensión dosis óptima*

ESTADO ACTUAL				PROPUESTA DE MEJORA			
Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final
2425	7.03	210	27.30	5.21	165	19.40	6.7
2825	7.22	240	38.50	5.05	200	33.60	6.3
875	6.85	75	5.30	6.58	70	1.50	6.7
564	7.18	45	4.70	7.08	35	1.60	7.14
2284	7.57	190	13.60	5.93	170	8.20	6.8
756	7.58	65	2.59	7.36	50	1.67	7.46
983	7.86	85	3.83	7.76	80	2.90	7.81
1743	7.36	150	3.70	7.43	125	1.10	6.9
1192	7.48	98	2.09	7.18	95	1.80	7.0
915	7.74	80	1.98	7.34	75	1.70	7.4

456	7.53	45	2.92	6.83	40	1.70	7.0
1340	7.48	100	4.10	7.31	100	4.10	7.3
1623	7.37	135	4.79	7.02	115	4.20	7.27
1875	7.25	145	7.69	6.81	135	3.80	7.1

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.7.5.2. Análisis de Resultados para la Variable Dependiente: Deficiencias en el Proceso

#### 3.7.5.2.1. Análisis de resultados para la dimensión efectividad del proceso

En la siguiente tabla se detallará la situación actual de la PTAP con respecto a la efectividad del proceso.

**Tabla 74**

*Tabla de dosificación actual*

<b>Turbiedad Inicial (NTU)</b>	<b>pH inicial</b>	<b>Dosis(mg/l)</b>	<b>Turbiedad Final (NTU)</b>	<b>pH final</b>
2425 NTU	7.03	210 mg/l	27.3 NTU	5.21
2825 NTU	7.22	240 mg/l	38.5 NTU	5.05
875 NTU	6.85	75 mg/l	5.3 NTU	6.58
564 NTU	7.18	45 mg/l	4.7 NTU	7.08
2284 NTU	7.57	190 mg/l	13.6 NTU	5.93
756 NTU	7.58	65 mg/l	2.59 NTU	7.36
983 NTU	7.86	85 mg/l	3.83 NTU	7.76
1743 NTU	7.36	150 mg/l	3.7 NTU	7.43
1192 NTU	7.48	98 mg/l	2.09 NTU	7.18
915 NTU	7.74	80 mg/l	1.98 NTU	7.34
456 NTU	7.53	45 mg/l	2.92 NTU	6.83
1340 NTU	7.48	100 mg/l	4.1 NTU	7.31
1623 NTU	7.37	135 mg/l	4.79 NTU	7.02
1875 NTU	7.25	145 mg/l	7.69 NTU	6.81

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Como se puede observar en algunos niveles de turbiedad con la dosis aplicada no se ha obtenido los resultados esperados es decir la turbiedad y el pH no están dentro de los parámetros establecidos. Se va a mejorar la efectividad en el proceso de floculación y coagulación de la producción de agua potable en una Planta de Tratamiento, estandarizando la siguiente tabla de dosis óptimas para los diferentes niveles de turbiedad en el caso de que se esté tratando agua con una turbiedad diferente a las que hay en la tabla se tomara como base la turbiedad más cercana para así poder aplicar la dosis óptima de sulfato de aluminio, esto se realiza con el objetivo de evitar sobre dosis que generan sobre gastos en la producción y tratamiento de agua potable.

**Tabla 75**

*Tabla de dosis óptimas aplicando la propuesta de mejora*

<b>Turbiedad Inicial (NTU)</b>	<b>pH inicial</b>	<b>Dosis(mg/l)</b>	<b>Turbiedad Final (NTU)</b>	<b>pH final</b>
2425 NTU	7.03	165 mg/l	19.4 NTU	6.7
2825 NTU	7.22	200 mg/l	33.6 NTU	6.3
875 NTU	6.85	70 mg/l	1.5 NTU	6.7
564 NTU	7.18	35 mg/l	1.6 NTU	7.14
2284 NTU	7.57	170 mg/l	8.24 NTU	6.8
756 NTU	7.58	50 mg/l	1.67 NTU	7.46
983 NTU	7.86	80 mg/l	2.9 NTU	7.81
1743 NTU	7.36	125 mg/l	1.1 NTU	6.9
1192 NTU	7.48	95 mg/l	1.8 NTU	7.0
915 NTU	7.74	75 mg/l	1.7 NTU	7.4
456 NTU	7.53	40 mg/l	1.69 NTU	7.0
1340 NTU	7.48	100 mg/l	4.13 NTU	7.3

1623 NTU	7.37	115 mg/l	4.2 NTU	7.27
1875 NTU	7.25	135 mg/l	3.8 NTU	7.1

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Mediante la prueba de jarras realizada en base a las dosis de las tablas con la que cuenta actualmente la PTAP se logró estandarizar una nueva tabla con dosis óptimas donde ya no se va a necesitar agregar polímero catiónico para disminuir la turbidez ni tampoco el hidróxido de cal para estabilizar el pH del agua tratada. Evitando así sobre procesos y costos adicionales para la PTAP por otro lado se va a obtener agua potable al final de tratamiento con un nivel de turbiedad y un pH óptimo para el consumo humano.

### 3.7.5.2.2. *Análisis de resultados para la dimensión eficiencia del proceso*

**Tabla 76**

*Tabla actual de dosis según los diferentes niveles de turbiedad*

<b>Turbiedad Inicial (NTU)</b>	<b>pH inicial</b>	<b>Dosis(mg/l)</b>	<b>Turbiedad Final (NTU)</b>	<b>pH final</b>
2425 NTU	7.03	210 mg/l	27.3 NTU	5.21
2825 NTU	7.22	240 mg/l	38.5 NTU	5.05
875 NTU	6.85	75 mg/l	5.3 NTU	6.58
564 NTU	7.18	45 mg/l	4.7 NTU	7.08
2284 NTU	7.57	190 mg/l	13.6 NTU	5.93
756 NTU	7.58	65 mg/l	2.59 NTU	7.36
983 NTU	7.86	85 mg/l	3.83 NTU	7.76
1743 NTU	7.36	150 mg/l	3.7 NTU	7.43
1192 NTU	7.48	98 mg/l	2.09 NTU	7.18
915 NTU	7.74	80 mg/l	1.98 NTU	7.34

456 NTU	7.53	45 mg/l	2.92 NTU	6.83
1340 NTU	7.48	100 mg/l	4.1 NTU	7.31
1623 NTU	7.37	135 mg/l	4.79 NTU	7.02
1875 NTU	7.25	145 mg/l	7.69 NTU	6.81

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En la situación actual de la PTAP se puede observar que hay ciertas deficiencias en el proceso de aplicar la dosis correcta de sulfato de aluminio para el nivel de turbiedad en el que se encuentra el agua, obteniendo así deficiencias en la turbiedad final y pH final, que están por encima y por debajo de los parámetros permitidos para el agua potable del consumo humano, por ende se aplicó el plan de mejora a través del método de pruebas de jarras donde nos permitió determinar nuevas dosis óptimas para poder optimizar el proceso de coagulación y floculación del agua potable obteniendo al final del tratamiento de agua potable, la turbiedad y pH esperado, sin la necesidad de agregar otros químicos como el polímero catiónico para bajar la turbiedad del agua y el hidróxido de cal para estabilizar el pH, ya que según el registro de la PTAP se han dado algunos casos que se aplicó una dosis de sulfato de aluminio demasiado elevada, donde se logró obtener un nivel de turbiedad bajo, sin embargo el pH en algunos casos estaba muy por debajo o muy elevado de los parámetros establecidos, realizando un sobre proceso al aplicar el hidróxido de cal para poder estabilizarlo y este se encuentre dentro de los parámetros establecidos, sin embargo no solo basta con la implementación de una nueva tabla

de dosis óptimas, si no también que los trabajadores encargados de dicha área pueda comprender la importancia de la optimización de procesos y tiempos, por eso es que se va aplicar la herramienta de Lean Manufacturing las 7 mudas para brindar capacitaciones a los trabajadores y puedan entender la importancia que se tiene realizar pruebas de jarras y así estar en constante actualización de las dosis óptimas ya que los niveles de turbiedad van a variar por distintos factores climatológicos.

Las 7 mudas:

**Sobreproducción:** Es producir más de lo que el cliente o el siguiente proceso necesita. La sobreproducción conduce a exceso de inventario que requiere un gasto extra de recursos que no beneficia a los clientes.

**Producir piezas defectuosas:** productos defectuosos son productos que no cumplen los requerimientos (internos o externos) del cliente y además incurrimos en costes adicionales por necesidad de repetir la producción.

**Transporte de material:** entendiendo el transporte de material como conducción de este, puede significar múltiple manejo y organización del material. Toda conducción es una actividad que no tiene valor añadido. Además, cada vez que movemos el producto hay riesgos de que se dañe o se pierda.

**Inventario:** tanto de producto terminado como de semielaborados.

Representa un capital que aún no ha producido un ingreso. El

inventario que está estancado o no lo tiene el cliente tiene que ser eliminado.

Sobre proceso: se trata de añadir pasos innecesarios en las actividades de trabajo y no requeridos por el cliente.

Retrasos / esperas: todos los productos o bienes que no están transportándose o en proceso de fabricación están en espera.

Cuando mayor sea esta espera, más innecesaria es.

Movimientos innecesarios: son movimientos extra para manipulado de piezas herramientas y cajas, estos movimientos pueden provocar daños en los productos.

En este caso se tomara bastante énfasis en las capacitaciones a brindar en el tema de producir piezas defectuosas que en otras palabras y con respeto al estudio que se está realizando se refiera cuando se aplica una dosis no óptima y como resultado se obtiene una turbiedad y pH final por encima de los parámetros establecidos, generándose un sobre proceso y un costo adicional, es muy importante que los encargados del área de producción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, puede entender la importancia de no producir piezas defectuosas ( agua con turbiedad alta y pH fuera de los parámetros establecidos) porque esto inmediatamente con lleva a un sobre proceso y aun costo adicional para la PTAP.

Cronograma de capacitaciones con previa coordinación con la PTAP.

**Tabla 77**

*Tabla de cronograma de capacitaciones*

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Duración</b>	<b>Tema</b>	<b>Encargado</b>
<b>18/11/2019</b>	08:00:00	20 min	que son las 7 mudas	Yessica Briones/ Ariana Díaz
<b>19/11/2019</b>	08:00:00	20 min	importancia de las 7 mudas	Yessica Briones/ Ariana Díaz
<b>20/11/2019</b>	08:00:00	20 min	a que conlleva producir piezas defectuosas	Yessica Briones/ Ariana Díaz
<b>21/11/2019</b>	08:00:00	20 min	a que conlleva un sobre proceso	Yessica Briones/ Ariana Díaz
<b>22/11/2019</b>	08:00:00	20 min	la importancia de mantener la tabla de dosis óptimas actualizada	Yessica Briones/ Ariana Díaz

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### **3.7.5.2.3. Análisis de resultados para la dimensión remoción de sólidos sedimentales**

En la siguiente tabla se puede observar los sólidos sedimentales que se obtiene al final del proceso, aplicando las dosis ya establecidas según la tabla actual con la que cuenta la PTAP y cuál sería el nivel de sólidos sedimentales que se obtendrá si se aplica el plan de mejorar y se logra establecer una nueva tabla de dosis óptimas, como se puede observar la mejora es significativa porque ya no se necesita polímero catiónico para reducir el nivel de sólidos sedimentales, lo único que se necesita es establecer una tabla de dosis óptima y mantenerla actualizada constantemente.

**Tabla 78**

*Tabla de remoción de sólidos resultados con la situación actual y resultados con la propuesta de mejora*

<b>Situación Actual</b>		<b>Propuesta de mejora</b>			
Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)	Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)
2425 NTU	210 mg/l	27.3 NTU	2425 NTU	165 mg/l	19.4 NTU
2825 NTU	240 mg/l	38.5 NTU	2825 NTU	200 mg/l	33.6 NTU
875 NTU	75 mg/l	5.3 NTU	875 NTU	70 mg/l	1.5 NTU
564 NTU	45 mg/l	4.7 NTU	564 NTU	35 mg/l	1.6 NTU
2284 NTU	190 mg/l	13.6 NTU	2284 NTU	170 mg/l	8.24 NTU
756 NTU	65 mg/l	2.59 NTU	756 NTU	50 mg/l	1.67 NTU
983 NTU	85 mg/l	3.83 NTU	983 NTU	80 mg/l	2.9 NTU
1743 NTU	150 mg/l	3.7 NTU	1743 NTU	125 mg/l	1.1 NTU
1192 NTU	98 mg/l	2.09 NTU	1192 NTU	95 mg/l	1.8 NTU
915 NTU	80 mg/l	1.98 NTU	915 NTU	75 mg/l	1.7 NTU
456 NTU	45 mg/l	2.92 NTU	456 NTU	40 mg/l	1.69 NTU
1340 NTU	100 mg/l	4.1 NTU	1340 NTU	100 mg/l	4.13 NTU
1623 NTU	135 mg/l	4.79 NTU	1623 NTU	115 mg/l	4.2 NTU
1875 NTU	145 mg/l	7.69 NTU	1875 NTU	135 mg/l	3.8 NTU

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

#### **3.7.5.2.4. Análisis de resultados para la dimensión generación de material residual de turbiedad**

En la siguiente tabla se muestra la situación actual de la PTAP con respecto a la generación de material residual de turbiedad y a la vez los resultados aplicando el plan de mejorar con las nuevas dosis óptimas para los mismos niveles de turbiedad.

**Tabla 79**

*Tabla de remoción de sólidos resultados con la situación actual y resultados con la propuesta de mejora*

<b>Situación Actual</b>			<b>Propuesta de mejora</b>		
Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)	Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)
2425 NTU	210 mg/l	58.3NTU	2425 NTU	165 mg/l	47.9 NTU
2825 NTU	240 mg/l	68.5 NTU	2825 NTU	200 mg/l	60.4 NTU
875 NTU	75 mg/l	8.5 NTU	875 NTU	70 mg/l	4.06 NTU
564 NTU	45 mg/l	14.7 NTU	564 NTU	35 mg/l	5.07 NTU
2284 NTU	190 mg/l	13.6 NTU	2284 NTU	170 mg/l	47.3 NTU
756 NTU	65 mg/l	12.5 NTU	756 NTU	50 mg/l	5.74 NTU
983 NTU	85 mg/l	8.83 NTU	983 NTU	80 mg/l	6.57 NTU
1743 NTU	150 mg/l	20.7 NTU	1743 NTU	125 mg/l	10.3 NTU
1192 NTU	98 mg/l	22.4 NTU	1192 NTU	95 mg/l	7.5 NTU
915 NTU	80 mg/l	8.27 NTU	915 NTU	75 mg/l	5.92 NTU
456 NTU	45 mg/l	8.12 NTU	456 NTU	40 mg/l	4.06 NTU
1340 NTU	100 mg/l	7.82 NTU	1340 NTU	100 mg/l	7.96 NTU
1623 NTU	135 mg/l	9.02 NTU	1623 NTU	115 mg/l	21.8 NTU
1875 NTU	145 mg/l	7.69 NTU	1875 NTU	135 mg/l	14.1 NT

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

Interpretación: Como se puede aplicar en la tabla de plan de mejorar con la dosis propuesta en el plan de mejora, el material residual que se genera es mucho menor, siendo este un indicador que la dosis aplicada es la óptima, para cada nivel de turbiedad.

### **3.8.Resultados de los indicadores después de la propuesta**

#### **3.8.1. Resultados para la dimensión partículas en suspensión después de la mejora**

**Tabla 80**

*Resultados para la dimensión partículas en suspensión después de la mejora*

Prueba N°	Situación Actual			Propuesta de mejora			Variación	Análisis de Variación
	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)	Percepción visible de partículas suspendidas	Dosis(mg/l)	Turbiedad Final (NTU)	Percepción visible de partículas suspendidas		
1	210	27.30	SI	165	19.40	SI	14%	Se logrará disminuir la percepción visible de las partículas suspendidas en 14%
2	240	38.50	SI	200	33.60	SI		
3	75	5.30	SI	70	1.50	NO		
4	45	4.70	NO	35	1.60	NO		
5	190	13.60	NO	170	8.24	NO		
6	65	2.59	NO	50	1.67	NO		
7	85	3.83	NO	80	2.90	NO		
8	150	3.70	SI	125	1.10	NO		
9	98	2.09	SI	95	1.80	NO		
10	80	1.98	NO	75	1.70	NO		
11	45	2.92	NO	40	1.69	NO		
12	100	4.10	NO	100	4.13	NO		
13	135	4.79	NO	115	4.20	NO		
14	145	7.69	NO	135	3.80	NO		
<b>TOTAL</b>		6	43%	<b>TOTAL</b>	4	29%		

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.8.2. Resultados para la dimensión turbidez después de la mejora

**Tabla 81**

*Resultados para la dimensión turbidez después de la mejora*

ESTADO ACTUAL		PROPUESTA DE MEJORA				Variación	Análisis de variación
Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)		
2425	210	27.30	2425	165	19.40	7.1	Se obtendrá niveles de turbidez finales más bajos,
2825	240	38.50	2825	200	33.60		
875	75	5.30	875	70	1.50		
564	45	4.70	564	35	1.60		

<b>2284</b>	190	13.60	2284	170	8.24	siendo en promedio una diferencia de 7.1 NTU.
<b>756</b>	65	2.59	756	50	1.67	
<b>983</b>	85	3.83	983	80	2.90	
<b>1743</b>	150	3.70	1743	125	1.10	
<b>1192</b>	98	2.09	1192	95	1.80	
<b>915</b>	80	1.98	915	75	1.70	
<b>456</b>	45	2.92	456	40	1.69	
<b>1340</b>	100	4.10	1340	100	4.13	
<b>1623</b>	135	4.79	1623	115	4.20	
<b>1875</b>	145	7.69	1875	135	3.80	
<b>PROMEDIO</b>		20.03	<b>PROMEDIO</b>		12.93	

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.8.3. Resultados para la dimensión grado de acidez después de la mejora

**Tabla 82**

*Resultados para la dimensión grado de acidez después de la mejora*

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA			Variación	Análisis de variación
pH inicial	Dosis(mg/L)	pH final	pH inicial	Dosis(mg/L)	pH final		
<b>7.03</b>	100	5.21	<b>7.03</b>	75	6.65	14.3%	Se lograría una mejora del 14.3%, debido a que de las 14 pruebas que se realizaron con la propuesta de mejora 11 estarían dentro de los límites permisibles.
<b>7.22</b>	90	5.05	<b>7.22</b>	150	6.30		
<b>6.85</b>	50	6.58	<b>6.85</b>	60	6.72		
<b>7.18</b>	20	7.08	<b>7.18</b>	40	7.14		
<b>7.57</b>	120	5.93	<b>7.57</b>	100	6.77		
<b>7.58</b>	50	7.36	<b>7.58</b>	70	7.46		
<b>7.86</b>	80	7.76	<b>7.86</b>	100	7.81		
<b>7.36</b>	70	7.43	<b>7.36</b>	80	6.92		
<b>7.48</b>	50	7.18	<b>7.48</b>	40	6.97		
<b>7.74</b>	80	7.34	<b>7.74</b>	100	7.36		
<b>7.53</b>	120	6.83	<b>7.53</b>	200	6.96		
<b>7.48</b>	40	7.31	<b>7.48</b>	50	7.30		
<b>7.37</b>	75	7.02	<b>7.37</b>	72.5	7.27		
<b>7.25</b>	160	6.81	<b>7.25</b>	150	7.08		
<b>TOTAL ÓPTIMO</b>		9	<b>TOTAL ÓPTIMO</b>		11		
<b>%OPTIMO</b>		64.3%	<b>%OPTIMO</b>		78.6%		

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.8.4. Resultados para la dimensión dosis óptima después de la mejora

**Tabla 83**

Resultados para la dimensión dosis óptima después de la mejora

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA						VARIACIÓN			Análisis de variación			
Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial		Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final
2425	7.03	210	27.30	5.21	2425	7.03	165	19.4	6.7	0	0	45	7.90	-1.4	Se lograría una mejora notaría debido a que se actualizaría sus tablas obteniendo dosis óptimas para los distintos niveles de turbiedad con un nivel de turbidez final más bajo y el nivel de pH dentro de los parámetros establecidos.
2825	7.22	240	38.50	5.05	2825	7.22	200	33.6	6.3	0	0	40	4.90	-1.3	
875	6.85	75	5.30	6.58	875	6.85	70	1.5	6.7	0	0	5	3.80	-0.1	
564	7.18	45	4.70	7.08	564	7.18	35	1.6	7.14	0	0	10	3.10	-0.1	
2284	7.57	190	13.60	5.93	2284	7.57	170	8.2	6.8	0	0	20	5.36	-0.8	
756	7.58	65	2.59	7.36	756	7.58	50	1.7	7.46	0	0	15	0.92	-0.1	
983	7.86	85	3.83	7.76	983	7.86	80	2.9	7.81	0	0	5	0.93	0.0	
1743	7.36	150	3.70	7.43	1743	7.36	125	1.1	6.9	0	0	25	2.60	0.5	
1192	7.48	98	2.09	7.18	1192	7.48	95	1.8	7.0	0	0	3	0.29	0.2	
915	7.74	80	1.98	7.34	915	7.74	75	1.7	7.4	0	0	5	0.28	0.0	
456	7.53	45	2.92	6.83	456	7.53	40	1.7	7.0	0	0	5	1.23	-0.1	
1340	7.48	100	4.10	7.31	1340	7.48	100	4.1	7.3	0	0	0	-0.03	0.0	
1623	7.37	135	4.79	7.02	1623	7.37	115	4.2	7.27	0	0	20	0.59	-0.3	
1875	7.25	145	7.69	6.81	1875	7.25	135	3.8	7.1	0	0	10	3.89	-0.3	

Fuente: Elaborado por los investigadores

### 3.8.5. Resultados para la dimensión efectividad en el proceso

**Tabla 84**

*Resultados para la dimensión efectividad en el proceso*

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA					VARIACIÓN			Análisis de variación				
Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)		pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final
2425	7.03	210	27.30	5.21	2425	7.03	165	19.4	6.7	0	0	45	7.90	-1.4	Se logra la efectividad en proceso con la tabla de dosis óptimas y se ve reflejado en el nivel de turbiedad final y en el pH final, obteniendo resultados donde ya no se necesita agregar hidróxido de cal ni polímero anicónico para obtener un agua óptima.
2825	7.22	240	38.50	5.05	2825	7.22	200	33.6	6.3	0	0	40	4.90	-1.3	
875	6.85	75	5.30	6.58	875	6.85	70	1.5	6.7	0	0	5	3.80	-0.1	
564	7.18	45	4.70	7.08	564	7.18	35	1.6	7.14	0	0	10	3.10	-0.1	
2284	7.57	190	13.60	5.93	2284	7.57	170	8.2	6.8	0	0	20	5.36	-0.8	
756	7.58	65	2.59	7.36	756	7.58	50	1.7	7.46	0	0	15	0.92	-0.1	
983	7.86	85	3.83	7.76	983	7.86	80	2.9	7.81	0	0	5	0.93	0.0	
1743	7.36	150	3.70	7.43	1743	7.36	125	1.1	6.9	0	0	25	2.60	0.5	
1192	7.48	98	2.09	7.18	1192	7.48	95	1.8	7.0	0	0	3	0.29	0.2	
915	7.74	80	1.98	7.34	915	7.74	75	1.7	7.4	0	0	5	0.28	0.0	
456	7.53	45	2.92	6.83	456	7.53	40	1.7	7.0	0	0	5	1.23	-0.1	
1340	7.48	100	4.10	7.31	1340	7.48	100	4.1	7.3	0	0	0	-0.03	0.0	
1623	7.37	135	4.79	7.02	1623	7.37	115	4.2	7.27	0	0	20	0.59	-0.3	
1875	7.25	145	7.69	6.81	1875	7.25	135	3.8	7.1	0	0	10	3.89	-0.3	

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.8.6. Resultados para la dimensión eficiencia en el proceso

**Tabla 85**

*Resultados para la dimensión eficiencia en el proceso*

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA						VARIACIÓN				Análisis de variación		
Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)		Turbiedad Final (NTU)	pH final
2425	7.03	210	27.30	5.21	2425	7.03	165	19.4	6.7	0	0	45	7.90	-1.4	La eficiencia en el proceso se ve reflejada porque el pH y turbiedad final después de aplicar la dosis óptima los resultados se encuentran dentro de los parámetros establecidos evitando así sobre procesos y sobre todo costos.
2825	7.22	240	38.50	5.05	2825	7.22	200	33.6	6.3	0	0	40	4.90	-1.3	
875	6.85	75	5.30	6.58	875	6.85	70	1.5	6.7	0	0	5	3.80	-0.1	
564	7.18	45	4.70	7.08	564	7.18	35	1.6	7.14	0	0	10	3.10	-0.1	
2284	7.57	190	13.60	5.93	2284	7.57	170	8.2	6.8	0	0	20	5.36	-0.8	
756	7.58	65	2.59	7.36	756	7.58	50	1.7	7.46	0	0	15	0.92	-0.1	
983	7.86	85	3.83	7.76	983	7.86	80	2.9	7.81	0	0	5	0.93	0.0	
1743	7.36	150	3.70	7.43	1743	7.36	125	1.1	6.9	0	0	25	2.60	0.5	
1192	7.48	98	2.09	7.18	1192	7.48	95	1.8	7.0	0	0	3	0.29	0.2	
915	7.74	80	1.98	7.34	915	7.74	75	1.7	7.4	0	0	5	0.28	0.0	
456	7.53	45	2.92	6.83	456	7.53	40	1.7	7.0	0	0	5	1.23	-0.1	
1340	7.48	100	4.10	7.31	1340	7.48	100	4.1	7.3	0	0	0	-0.03	0.0	
1623	7.37	135	4.79	7.02	1623	7.37	115	4.2	7.27	0	0	20	0.59	-0.3	
1875	7.25	145	7.69	6.81	1875	7.25	135	3.8	7.1	0	0	10	3.89	-0.3	

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.8.7. Resultados para la dimensión remoción de sólidos

**Tabla 86**

*Resultados para la dimensión remoción de sólidos*

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA						VARIACIÓN			Análisis de variación			
Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial		Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final
2425	7.03	210	27.30	5.21	2425	7.03	165	19.4	6.7	0	0	45	7.90	-1.4	Después de aplicar el plan de mejora se ve una mejora significativa en el tema de remoción de sólidos ya que como las dosis van a ser las óptimas el nivel de turbiedad final se encontrará dentro de los parámetros establecidos por ende los sólidos finales que se verán reflejados serán mínimos
2825	7.22	240	38.50	5.05	2825	7.22	200	33.6	6.3	0	0	40	4.90	-1.3	
875	6.85	75	5.30	6.58	875	6.85	70	1.5	6.7	0	0	5	3.80	-0.1	
564	7.18	45	4.70	7.08	564	7.18	35	1.6	7.14	0	0	10	3.10	-0.1	
2284	7.57	190	13.60	5.93	2284	7.57	170	8.2	6.8	0	0	20	5.36	-0.8	
756	7.58	65	2.59	7.36	756	7.58	50	1.7	7.46	0	0	15	0.92	-0.1	
983	7.86	85	3.83	7.76	983	7.86	80	2.9	7.81	0	0	5	0.93	0.0	
1743	7.36	150	3.70	7.43	1743	7.36	125	1.1	6.9	0	0	25	2.60	0.5	
1192	7.48	98	2.09	7.18	1192	7.48	95	1.8	7.0	0	0	3	0.29	0.2	
915	7.74	80	1.98	7.34	915	7.74	75	1.7	7.4	0	0	5	0.28	0.0	
456	7.53	45	2.92	6.83	456	7.53	40	1.7	7.0	0	0	5	1.23	-0.1	
1340	7.48	100	4.10	7.31	1340	7.48	100	4.1	7.3	0	0	0	-0.03	0.0	
1623	7.37	135	4.79	7.02	1623	7.37	115	4.2	7.27	0	0	20	0.59	-0.3	
1875	7.25	145	7.69	6.81	1875	7.25	135	3.8	7.1	0	0	10	3.89	-0.3	

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.8.8. Resultados para la dimensión generación de material residual

**Tabla 87**

*Resultados para la dimensión generación de material residual*

ESTADO ACTUAL			PROPUESTA DE MEJORA						VARIACIÓN			Análisis de variación			
Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial	Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final	Turbiedad Inicial (NTU)	pH inicial		Dosis (mg/L)	Turbiedad Final (NTU)	pH final
2425	7.03	210	27.30	5.21	2425	7.03	165	19.4	6.7	0	0	45	7.90	-1.4	Después de aplicar el plan de mejora el material residual generado al final del tratamiento va a ser nulo ya que al aplicar la dosis óptima el nivel de turbiedad estará dentro de los parámetros establecidos, por ejemplo para un nivel de turbiedad de 875 NTU al aplicar una dosis de 75 mg/l sin el plan de mejora se obtuvo una turbiedad final de 5.3 NTU al aplicar la dosis óptima según el plan de mejora se obtuvo un nivel de turbiedad de 1.5 NTU
2825	7.22	240	38.50	5.05	2825	7.22	200	33.6	6.3	0	0	40	4.90	-1.3	
875	6.85	75	5.30	6.58	875	6.85	70	1.5	6.7	0	0	5	3.80	-0.1	
564	7.18	45	4.70	7.08	564	7.18	35	1.6	7.14	0	0	10	3.10	-0.1	
2284	7.57	190	13.60	5.93	2284	7.57	170	8.2	6.8	0	0	20	5.36	-0.8	
756	7.58	65	2.59	7.36	756	7.58	50	1.7	7.46	0	0	15	0.92	-0.1	
983	7.86	85	3.83	7.76	983	7.86	80	2.9	7.81	0	0	5	0.93	0.0	
1743	7.36	150	3.70	7.43	1743	7.36	125	1.1	6.9	0	0	25	2.60	0.5	
1192	7.48	98	2.09	7.18	1192	7.48	95	1.8	7.0	0	0	3	0.29	0.2	
915	7.74	80	1.98	7.34	915	7.74	75	1.7	7.4	0	0	5	0.28	0.0	
456	7.53	45	2.92	6.83	456	7.53	40	1.7	7.0	0	0	5	1.23	-0.1	
1340	7.48	100	4.10	7.31	1340	7.48	100	4.1	7.3	0	0	0	-0.03	0.0	
1623	7.37	135	4.79	7.02	1623	7.37	115	4.2	7.27	0	0	20	0.59	-0.3	
1875	7.25	145	7.69	6.81	1875	7.25	135	3.8	7.1	0	0	10	3.89	-0.3	

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.9.Resultados del análisis económico

Se analizó el costo de la propuesta de mejora en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, 2019.

#### 3.9.1. Costos por mantenimiento de maquinaria, equipos y herramientas

Se identificó qué máquinas, equipos y herramientas se utilizarán para implementar la propuesta de mejora (Método de prueba de jarras), además de ello se logró determinar que para este método se utilizará un peachímetro, un turbidímetro y un equipo de prueba de jarras. Por otro lado, como la PTAP ya cuenta con estos equipos, los costos que se asumirán en la propuesta de mejora serán el mantenimiento respectivo de los mismos, en periodos anuales, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 88**

*Costos por mantenimiento de maquinaria, equipos y herramientas*

Descripción	Cantidad	Costo S/.	Total, S/.
<b>Peachímetro</b>	1	12000	12000
<b>Turbidímetro</b>	1	10000	10000
<b>Equipo de prueba de jarras</b>	1	60000	60000
<b>Total</b>		<b>S/.</b>	<b>82,000.00</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

#### 3.9.2. Costos por capacitaciones anuales

Costo de capacitación, con respecto a la propuesta de mejora lo que se busca es que el personal este bien capacitado el tema de optimización de recursos para mejorar a afectividad en el proceso y sobre todo disminuir deficiencias en el proceso es por ello por lo que se ha considerado un presupuesto para la capacitación anual de los trabajadores que están involucrados en todos los procesos de tratamiento del agua, que se ve detallado en la siguiente tabla:

**Tabla 89**

*Costos por capacitaciones anuales*

Temas	N° de capacitadores	Tiempo horas semanal	Costo S/. semanal	Total, mensual S/.	Total, cuatrimestral S/.
Capacitación en los procesos de coagulación y floculación	1	9	500	18000	72000
<b>Total</b>				<b>S/. 18,000.00</b>	<b>S/. 72,000.00</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.9.3. Costos de implementos

Para que las capacitaciones sean productivas y de provecho tanto para el personal como para la PTAP, se necesita de material didáctico como separatas videos y diapositivas, que se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 90**

*Costos de implementos*

Implementos	Costo de material S/.	N° de trabajadores	Total, semestral S/.	Total, anual S/.
Separatas, videos y diapositivas	10	37	370	740
<b>Total</b>			<b>S/. 370.00</b>	<b>S/. 740.00</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.9.4. Costos de materiales de registro

Es necesario tener un histórico de las diferentes pruebas de jarras que se va a realizar a lo largo de todo un año para así poder estimar para el siguientes año según dicho historial las dosis óptimas según corresponda, además es muy importante registrar tanto las turbiedades iniciales como finales para poder determinar de manera más sencilla y evaluar con todo el personal si se está realizando un trabajo correcto donde se refleje claramente que si se está optimizando recursos y tiempos a lo largo del proceso de tratamiento, por ende se va a requerir de los siguientes materiales de registro, se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 91**

*Costos de materiales de registro*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo S/.</b>	<b>Total, mensual</b>	<b>Total, anual S/.</b>
<b>Cuadernillos de registro</b>	1	30	30	360
		<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>360</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### **3.9.5. Costos de horas hombre adicionales por dosificación.**

En la siguiente tabla se determina cual sería el costo que se invierte en mano de obra y en insumos, para el proceso de tratamiento de agua potable se requiere de 33 operadores divididos en operador 0 que viene hacer el operador más básico, le sigue operados 1 que viene a ser aquel trabajador que tiene un poco más de conocimiento que el operador 0, le sigue el operador 2 y finalmente el operador 3 que es el que tiene mayor conocimiento y sobre todo mayor antigüedad en la PTAP, por otro lado se detalla los insumos a utilizar.

**Tabla 92**

Optimización del proceso de coagulación-floculación para disminuir deficiencias en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el norte del Perú, 2019.

*Costos de horas hombre adicionales por dosificación*

Descripción	Total horas de preparación de dosis	Total horas de preparación/und mejoradas	Diferencia de horas	Costo/hora S/.	Total por mes	Total reparaciones anuales	Total anual
<b>Operador 0</b>	4	3	1	15	S/. 15.00	5,094.00	76410
<b>Operador 1</b>	2.5	2	0.5	15	S/. 7.50	4,000.00	30000
<b>Operador 2</b>	2	1	1	15	S/. 15.00	1,094.00	16410
<b>Operador 3</b>	1	0.5	0.5	15	S/. 7.50	930.00	6975
<b>Polímero catiónico</b>	0.33	0	0.33	8	S/. 2.64	4,000.00	10560
<b>Hipoclorito de calcio 60-70%</b>	0.33	0	0.33	8	S/. 2.64	4,000.00	10560
<b>Sulfato de aluminio en sol. 48%</b>	0.33	0.2	0.13	8	S/. 1.04	2,600.00	2704
						<b>Total</b>	<b>S/. 153,619.00</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.9.6. Costos por incurrir en la propuesta de mejora

En la siguiente tabla se puede apreciar los costos por incurrir con la propuesta de mejora, durante un periodo de 5 años, dando mantenimiento a la maquinaria y equipo necesario, como son el peachimetro, turbidimetro y el equipo para la prueba de jarras, esencial para llevar a cabo este método. Asimismo, las capacitaciones necesarias para todo el personal encargado de los procesos de coagulación y floculación en esta PTAP, así como los jefes encargados de las divisiones, incluyendo los materiales necesarios para proceder con dicha capacitación.

**Tabla 93**

*Costos por incurrir en la propuesta de mejora*

<b>COSTOS POR INCURRIR EN EL PROCESO</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>Peachimetro</b>	12,000.00	.....	.....	.....	.....	.....
<b>Turbidimetro</b>	10,000.00	.....	.....	.....	.....	.....
<b>Equipo de prueba de jarras</b>	60,000.00	.....	.....	.....	.....	.....
<b>Capacitación en los procesos de coagulación y floculación</b>	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	4,320.00
<b>Separatas, videos y diapositivas</b>	740	740	740	740	740	360
<b>Cuadernillos de registro</b>	360	360	360	360	360	360
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>155,100.00</b>	<b>73,100.00</b>	<b>73,100.00</b>	<b>73,100.00</b>	<b>73,100.00</b>	<b>47,186.60</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.9.7. Costos por no incurrir en la propuesta de mejora

En la siguiente tabla se puede apreciar los costos por no incurrir con la propuesta de mejora, es decir el estado actual de la PTAP, durante un periodo de 5 años, en la que se incluye el costo por hora de los operarios que toman más horas para realizar otros procesos como la colocación de hipoclorito de calcio o polímero catiónico al agua, además del costo adicional por utilizar estos insumos.

**Tabla 94**

*Costos por no incurrir en la propuesta de mejora*

<b>COSTO POR HH ADICIONALES</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>Operador 0</b>	76410	76410	76410	76410	76410
<b>Operador 1</b>	30000	30000	30000	30000	30000
<b>Operador 2</b>	16410	16410	16410	16410	16410
<b>Operador 3</b>	6975	6975	6975	6975	6975
<b>Polímero catiónico</b>	10560	10560	10560	10560	10560
<b>Hipoclorito de calcio 60-70%</b>	10560	10560	10560	10560	10560
<b>Sulfato de aluminio en sol. 48%</b>	2704	2704	2704	2704	2704
<b>COSTO POR HH ADICIONALES</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>153,619.00</b>	<b>153,619.00</b>	<b>153,619.00</b>	<b>153,619.00</b>	<b>153,619.00</b>

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

### 3.9.8. Flujo de caja neto

**Tabla 95**

*Flujo de caja neto*

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5		
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	-155,100.00	80,519.00	80,519.00	80,519.00	80,519.00	106,432.40	<b>TASA</b>	9%
<b>VAN</b>	<b>S/. 330,032.76</b>							
<b>TIR</b>	<b>45%</b>							
<b>IR</b>	<b>S/. 2.13</b>							

*Fuente: Elaborado por los investigadores*

En este flujo de caja obtenido después del plan de mejora, se puede apreciar el flujo de efectivo en un periodo de 5 años de los ingresos y egresos de dinero en la PTAP, lo que permite visualizar mejor los resultados después de la implementación del plan propuesto de mejora. Además de ello, como se aprecia en la tabla el VAN tiene un valor de S/. 330 032.76, esto quiere decir que él es  $VAN > 0$ , por lo que el proyecto es viable. Asimismo, el  $TIR > COK$ , lo que indica la aceptación del proyecto. Finalmente, el  $IR > 1$ , con un valor de S/2.13, lo que indica que por cada S/.1 invertido, se obtiene de ganancia o retorno S/. 1.13, lo que indica que se acepta el proyecto.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Con el objetivo claro de optimizar el proceso de coagulación y floculación para disminuir deficiencias en una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Norte del Perú, se determinó en primera instancia que habían sobre procesos ya que no se aplicaba la dosis óptima de sulfato de aluminio provocando así un nivel de turbiedad por encima de los parámetros establecidos y en otros casos un pH por debajo de los parámetros, para esto se planteó aplicar el método de prueba de jarras para poder definir dosis óptimas según los diferentes niveles de turbiedad y estandarizar una tabla de dosis óptimas.

Al implementar el método de prueba de jarras se obtuvo diferentes niveles de turbiedad para así poder definir dosis óptimas según estos diferentes niveles, siendo actualizada la tabla con la que contaban.

Según Garay (2015) la prueba de jarras es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio, el ensayo de jarras ha sido ampliamente usado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de procesos existentes. Al analizar los datos obtenidos se determinó que, tanto al utilizar el sulfato de aluminio en las diferentes dosificaciones el porcentaje de remoción de turbiedad como de color fueron variando, iniciando con la caracterización de los parámetros fisicoquímicos turbiedad dentro de un rango de 8,2 NTU a 894,2 NTU; de color de 13 UPC a 112 UPC; pH de 7,99 a 8,42 y conductividad de 213,52 uS/cm a 394,84 uS/cm, ya que los días de monitoreo se presentaban precipitaciones y se recolectaban muestras con mayor variación de la turbiedad y color. Después de implementar el método de prueba de jarras, y establecer dosis óptimas según los

diferentes niveles de turbiedad se obtuvo los siguientes resultados, Se logrará disminuir la percepción visible de las partículas suspendidas en 14%, Se obtendrá niveles de turbidez finales más bajos, siendo en promedio una diferencia de 7.1 NTU.

Según (Andía Cárdenas, 2010) El agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas, fúlvicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración así mismo, se lograría una mejora del 14.3%, debido a que de las 14 pruebas que se realizaron con la propuesta de mejora 11 estarían dentro de los límites permisibles por otro lado se lograría una mejora notaría debido a que se actualizaría sus tablas obteniendo dosis óptimas para los distintos niveles de turbiedad con un nivel de turbidez final más bajo y el nivel de pH dentro de los parámetros establecidos, (Bedoya & Giraldo, 2012) indica en su investigación que la eficiencia de remoción de contaminantes en la etapa de coagulación depende de los parámetros, tipo y dosis de coagulante, pH de coagulación, condiciones de mezcla y temperatura, todos estas son acondicionadas según las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los factores conocidos como pH, alcalinidad, color aparente, turbiedad y temperatura. Por ejemplo, del grado de alcalinidad, depende la efectividad de los resultados en la presente investigación se logra la efectividad en el proceso con la tabla de dosis óptimas y se ve reflejado en el nivel de turbiedad final y en el pH final, obteniendo resultados donde ya no se necesita agregar hidróxido de cal ni

polímero aniónico para obtener un agua óptima. (Garay, 2015) Los diagramas de coagulación son herramientas muy efectivas para indicar las condiciones de dosis químicas y pH en que ocurre una eficiente coagulación, es decir, su interpretación sencilla permite predecir las condiciones de coagulación: remoción de turbiedad, remoción de color, filtración directa y selección de unidades de mezcla rápida. Por ejemplo, los diagramas de coagulación aplicados para encontrar las mejores eficiencias en cuanto remoción de color, siendo la dosis de coagulante y el valor óptimo de pH las variables de evaluación muestran mayor remoción de color a pH ácidos, alrededor de 5,5, siendo este el factor Optimización a escala de laboratorio de los procesos de coagulación – floculación y desinfección para la remoción de materia orgánica y patógenos en el sistema de potabilización de agua.

La eficiencia en el proceso se ve reflejada porque el pH y turbiedad final después de aplicar la dosis óptima los resultados se encuentran dentro de los parámetros establecidos evitando así sobre procesos y sobre todo costos. Después de aplicar el plan de mejora se ve un aumento significativo en el tema de remoción de sólidos; pues, debido a que las dosis van a ser óptimas, el nivel de turbiedad final se encontrará dentro de los parámetros establecidos, por ende los sólidos finales que se verán reflejados serán mínimos. Después de aplicar el plan de mejora el material residual generado al final del tratamiento va a ser nulo ya que al aplicar la dosis óptima el nivel de turbiedad estará dentro de los parámetros establecidos, por ejemplo, para un nivel de turbiedad de 875 NTU al aplicar una dosis de 50 mg/l sin el plan de mejora se obtuvo una turbiedad final de 18.5 NTU al aplicar la dosis óptima según la P.J se obtuvo un nivel de turbiedad de 5 NTU. (Moreno Quirós, Nuñez Correa, & Otíz Carmona, 2015) Indica que la turbiedad es una forma de medir la concentración de las partículas coloides y suspendidas en un líquido (arcilla, placton, etc). En sí puede considerarse que la turbiedad no tiene efectos

sobre la salud, pero afecta la calidad estética del agua y al presentarse puede ocasionar el rechazo de los consumidores, además un alto grado de turbiedad puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular el desarrollo de las bacterias.

Por otro lado, las limitaciones del presente estudio y del método utilizado (prueba de jarras) es que no existen, aún, investigaciones de la misma índole a nivel regional, lo que dificultó nuestra investigación en la parte de antecedentes a nivel regional, por lo que se buscó mayor información a nivel nacional, basándonos mayormente en este y también a nivel internacional. Por lo tanto, la presente investigación servirá como base para futuras investigaciones que busquen optimizar los procesos de coagulación y floculación para disminuir deficiencias en una PTAP en la región Norte del Perú.

Finalmente, la presente investigación servirá y brindará información relevante sobre la optimización de los procesos de coagulación y floculación, adicionalmente de antecedentes científicos, todos basados en el método de prueba de jarras, realizado a nivel laboratorio, el cual es la simulación de todos los procesos ocurridos en la Planta de Tratamiento, demostrando que es un método confiable para determinar dosis óptimas de sulfato de aluminio con distintos niveles de turbiedad y pH para el tratamiento de agua potable. Todo ello para la mejora de dichos procesos, mencionados anteriormente y asimismo para que se logre el desarrollo de otras investigaciones que busquen optimizar procesos y disminuir costos en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP).

#### **4.2. Conclusiones**

- Se analizó el proceso de coagulación- floculación y sus deficiencias, teniendo actualmente un 93% de deficiencia en la aplicación de la dosis óptima en base a 14 pruebas de jarras con diferentes niveles de turbidez y pH en la PTAP en el Norte del Perú, 2019

- Se propuso la optimización del proceso de coagulación- floculación en la PTAP en el Norte del Perú, 2019
- Las deficiencias en el proceso después de la optimización del proceso de coagulación- floculación se obtendría una reducción de 72% de deficiencia en la aplicación de la dosis óptima basado en 14 pruebas de jarras con diferentes niveles de turbidez y pH en la PTAP en el Norte del Perú, 2019.
- Se realizó un análisis costo-beneficio obteniendo un VAN de S/. 330 032.76, un TIR de 45% y un IR de S/.2.13 por lo que el proyecto es viable y aceptable.

## REFERENCIAS

- Andía Cárdenas, Y. (2010). *Tratamiento del agua- Coagulación y Floculación*. Lima.
- Barajas Garzón, C., & León Luque, A. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 18H<sub>2</sub>O) EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR MEDIO DEL USO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL*. Bogotá.
- Bedoya, D. C., & Giraldo, M. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado Tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la plata de tratamiento de Villa Santana*. Pereira.
- CASTELLARES, J. H. (2015). "Efectos del polihidroxiclورو de aluminio, velocidad de agitacion y pH en la turbidez del agua del rio Shullcas-Huancayo, 2013". Huancayo.
- DIRESA. (2016). PERU.
- DIRESA. (2016). PERU.
- Galvín, R. M. (1998). *Jar test en el tratamiento de aguas: Una valiosa herramienta*. Córdoba.
- Galvín, R. M. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas. Segunda Edición*. Díez de Santos.
- Garay, I. F. (2015). *Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto*. Huancayo.
- Hach, C. (2005). *Tiras reactivas*. Obtenido de <http://www.carbotecnia.info/producto/tiras-reactivas-analisis-aquachek-5-en-1>
- Luque, C. L.-A. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACION-FLOCULACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*. Bogotá.
- Moreno Quirós, R., Nuñez Correa, S., & Otíz Carmona, A. I. (2015). *OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA POTABILIZADORA YURIVIA*. México D.F.
- Ordóñez, M. L. (2018). "Optimización de los procesos de coagulación-floculación en la planta de potabilización perteneciente al Cantón Cañar". Ecuador.
- Peña Rojas, A. C. (2016). *USO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA OPTIMIZAR LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE - HUANCAYO*. Lima.
- Pérez Garay, I. F. (2015). *Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del Distrito de Villacoto*. Huancayo.
- PÉREZ, M. L. (2018). "Evaluación del uso de la cactacea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para taratamiento de aguas". Lima-Peru .
- Rajadell, M., & Sánchez, J. L. (2010). *Lean Manufacturing La evidencia de una necesidad*. Madrid: Díez de Santos.
- Salazar, M. C. (2011). *Optimización en laboratorio de los proceso de coagulación – floculación y desinfección para remover materia orgánica y patógenos en la planta de potabilización de agua de Armenia mediante metodología de superficie de respuesta*. Armenia.
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación*. México.
- Ushiñahua, A. R. (2018). "Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo-La mina, Moyobamba-San Martín". Moyobamba-Peru.

## ANEXOS

### Anexo N° 1

#### *Equipo de prueba de Jarras*



## Anexo N° 2

### *Turbilimetro*



**Anexo N° 3**

*Peachirmeto*



## Anexo N° 4

### Guía de Entrevista

#### Guía de Entrevista

1. ¿Cuáles son los procesos que se llevan a cabo en la Planta de Tratamiento de Agua Potable?
2. ¿Se le dificulta encontrar la dosis óptima de sulfato de aluminio?  
 Sí  
 No
3. ¿Se cuenta actualmente con una tabla de dosis óptima de sulfato de aluminio con diferentes niveles de turbiedad?
4. ¿Con que frecuencia se actualiza la tabla de dosis óptima en la PTAP?
5. ¿Se aplica el método de prueba de jarras para definir la dosis óptima?  
 Sí  
 No
6. Si la respuesta anterior fue sí, indicar con qué frecuencia se realizan las pruebas de jarras en la PTAP
7. ¿Considera usted que se produce sobre procesos al no aplicar la dosis óptima? ¿Por qué?