

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**“EFICIENCIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN  
MEDIANTE SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO EN  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL MILAGRO” DE LA  
EPS SEDACAJ S.A. 2024”**

**TESIS PARA OPTAR:**

El título profesional de Ingeniero Sanitario

**TESISTA:**

Chávez Collantes, Dina Flor.

**ASESOR:**

Dr. Medina Chávez, Agustín Emerson.

**Cajamarca, Perú**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Dina Flor, Chávez Collantes  
**DNI:** 72014372  
**Escuela Profesional:** Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria
- Asesor:** Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
"EFICIENCIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN MEDIANTE SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" DE LA EPS SEDACAJ S.A. - 2024"
- Fecha de evaluación:** 13 de agosto de 2025
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 14 %
- Código Documento:** oid: 3117:482599114
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 14 de agosto 2025



Firmado digitalmente por:  
MEDINA CHAVEZ AGUSTIN  
EMERSON FIR 27040564 hard  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 14/08/2025 18:43:57-0500

**FIRMA DEL ASESOR**

**DNI: 27040564**



Firmado digitalmente por:  
BAZAN DIAZ Laura Sofia  
FAU 20148258601 soft  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 14/08/2025 20:17:18-0500

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**



#### ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : EFICIENCIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN MEDIANTE SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" DE LA ESP SEDACAJ S.A. – 2024

ASESOR : Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0633-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 24 de setiembre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diecisiete días del mes de octubre de 2025**, siendo las dieciséis horas (04:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A – Segundo Piso), de la facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Vocal : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EFICIENCIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN MEDIANTE SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" DE LA ESP SEDACAJ S.A. – 2024*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Sanitaria *DINA FLOR CHÁVEZ COLLANTES*, asesorada por el Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

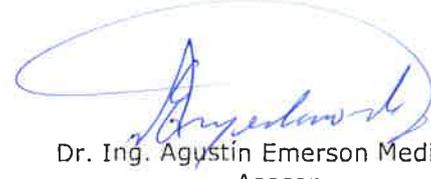
EVALUACIÓN PRIVADA : ..... <sup>06</sup> ..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : ..... <sup>11</sup> ..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : ..... <sup>17</sup> ..... PTS

En consecuencia, se la declara *Aprobado* con el calificativo de *Diecisiete* (En letras) acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *Dieciséis* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

  
Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

  
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Vocal

  
M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.  
Secretario

  
Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez.  
Asesor

## **DEDICATORIA**

Con todo cariño a mi familia, en especial a mis padres, quienes han sido mi fortaleza en cada paso de este camino. Su amor, paciencia y apoyo incondicional han sido fundamentales para que hoy alcance esta meta.

A mis hermanas, por ser mi refugio, mi alegría y mi inspiración diaria y por compartir conmigo cada reto y cada triunfo.

A mi asesor, quien ha sembrado en mí el amor por el conocimiento y la disciplina para enfrentar los desafíos con determinación.

Y finalmente, a todas las personas que valoran el esfuerzo, el aprendizaje y el crecimiento personal como herramientas para transformar el mundo.

Con gratitud y amor.

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Dina Flor, Chávez Collantes  
**DNI:** 72014372  
**Escuela Profesional:** Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria
- Asesor:** Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
"EFICIENCIA DEL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN MEDIANTE SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" DE LA EPS SEDACAJ S.A. - 2024"
- Fecha de evaluación:** 13 de agosto de 2025
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 14 %
- Código Documento:** oid: 3117:482599114
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 14 de agosto 2025



Firmado digitalmente por:  
MEDINA CHAVEZ AGUSTIN  
EMERSON FIR 27040564 hard  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 14/08/2025 18:43:57-0500

FIRMA DEL ASESOR

DNI: 27040564

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme la fortaleza y perseverancia para superar cada obstáculo.

A mis padres, abuelitos, cuyo amor incondicional, esfuerzo y sacrificio han sido mi más grande inspiración. Gracias por enseñarme con su ejemplo que la constancia y la dedicación, son el camino hacia el éxito.

A mis hermanas, por su apoyo inquebrantable, sus palabras de aliento, su compañía y amor han sido una fuente constante de motivación y alegría en este proceso.

A mis profesores, quienes con su guía, paciencia y conocimientos han enriquecido mi formación académica y me han motivado a seguir explorando el aprendizaje con pasión y compromiso.

Finalmente, a la EPS SEDACAJ S.A., por su apoyo contribuyeron a la realización de este trabajo. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

**INDICE DE CONTENIDO**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	14
1.1. Planteamiento del Problema.....	14
1.2. Formulación del problema .....	16
1.3. Justificación de la investigación.....	16
1.4. Delimitación de la investigación.....	17
1.5. Objetivos de la investigación .....	19
1.5.1. Objetivo general.....	19
1.5.2. Objetivos específicos .....	19
1.6. Hipótesis General .....	19
CAPÍTULO II.MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. Antecedentes .....	20
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	21
2.2. Bases Teóricas.....	22
2.2.1. Agua.....	22
2.2.2. Tratamiento de Potabilización .....	22
2.2.3. Proceso de coagulación.....	23
2.2.4. Proceso de floculación .....	26

2.2.5.	Prueba de jarras.....	27
2.2.6.	Dosis óptima .....	29
2.2.7.	Coagulantes.....	30
2.2.8.	Sulfato de aluminio.....	30
2.2.9.	Policloruro de aluminio .....	31
2.3.	Definición de términos básicos .....	31
2.3.1.	Eficiencia .....	31
2.3.2.	Turbiedad.....	32
2.3.3.	Potencial de hidrogeno.....	32
2.3.4.	Color .....	32
2.3.5.	Conductividad.....	33
2.3.6.	Límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA.....	34
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>35</b>
3.1.	Ubicación Geográfica.....	35
3.2.	Aspectos socioeconómicos y características físicas.....	37
3.2.1.	Demografía .....	37
3.2.2.	Geología.....	37
3.2.3.	Clima.....	39
3.3.	Materiales y equipos.....	42

3.4.	Metodología del trabajo .....	43
3.4.1.	Tipo, nivel y diseño de investigación .....	43
3.4.2.	Población de estudio .....	44
3.4.3.	Muestra .....	44
3.4.4.	Unidad de análisis .....	44
3.5.	Procedimiento de trabajo.....	44
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		50
4.1.	Análisis de resultados .....	50
4.2.	Análisis estadístico .....	96
4.3.	Discusión de resultados .....	104
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		109
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		113
ANEXOS .....		117

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Límites máximos permisibles de calidad de agua para consumo humano .	34
<b>Tabla 2</b> Clasificación de la Geología.....	38
<b>Tabla 3</b> Formas de relieve.....	39
<b>Tabla 4</b> <i>Distribución de los Diferentes Tipos de Clima, en la Provincia de Cajamarca</i> .....	40
<b>Tabla 5</b> Tipo y nivel de investigación.....	43
<b>Tabla 6</b> Factor de tratamiento .....	46
<b>Tabla 7</b> Índice de floculación de Willcomb.....	49
<b>Tabla 8</b> Eficiencia del proceso de coagulación - floculación con Policloruro de aluminio .....	50
<b>Tabla 9</b> Eficiencia del proceso de coagulación - floculación con Sulfato de aluminio .....	52
<b>Tabla 10</b> Prueba de jarra N° 1 con Policloruro de aluminio .....	53
<b>Tabla 11</b> Prueba de jarra N° 1 con Sulfato de aluminio.....	54
<b>Tabla 12</b> Prueba de jarra N° 2 con Policloruro de aluminio .....	55
<b>Tabla 13</b> Prueba de jarra N° 2 con Sulfato de aluminio.....	56
<b>Tabla 14</b> Prueba de jarra N° 3 con Policloruro de aluminio.....	57
<b>Tabla 15</b> Prueba de jarra N° 3 con Sulfato de aluminio.....	58
<b>Tabla 16</b> Prueba de jarra N° 4 con Policloruro de aluminio.....	59
<b>Tabla 17</b> Prueba de jarra N° 4 con Sulfato de aluminio.....	60
<b>Tabla 18</b> Prueba de jarra N° 5 con Policloruro de aluminio.....	61
<b>Tabla 19</b> Prueba de jarra N° 5 con Sulfato de aluminio.....	62
<b>Tabla 20</b> Prueba de jarra N° 6 con Policloruro de aluminio.....	63

<b>Tabla 21</b> Prueba de jarra N° 6 con Sulfato de aluminio.....	64
<b>Tabla 22</b> Prueba de jarra N° 7 con Policloruro de aluminio.....	65
<b>Tabla 23</b> Prueba de jarra N° 7 con Sulfato de aluminio.....	66
<b>Tabla 24</b> Prueba de jarra N° 8 con Policloruro de aluminio.....	67
<b>Tabla 25</b> Prueba de jarra N° 8 con Sulfato de aluminio.....	68
<b>Tabla 26</b> Prueba de jarra N° 9 con Policloruro de aluminio.....	69
<b>Tabla 27</b> Prueba de jarra N° 9 con Sulfato de aluminio.....	70
<b>Tabla 28</b> Prueba de jarra N° 10 con Policloruro de aluminio.....	71
<b>Tabla 29</b> Prueba de jarra N° 10 con Sulfato de aluminio.....	72
<b>Tabla 30</b> Prueba de jarra N° 11 con Policloruro de aluminio.....	73
<b>Tabla 31</b> Prueba de jarra N° 11 con Sulfato de aluminio.....	74
<b>Tabla 32</b> Prueba de jarra N° 12 con Policloruro de aluminio.....	75
<b>Tabla 33</b> Prueba de jarra N° 12 con Sulfato de aluminio.....	76
<b>Tabla 34</b> Prueba de jarra N° 13 con Policloruro de aluminio.....	77
<b>Tabla 35</b> Prueba de jarra N° 13 con Sulfato de aluminio.....	78
<b>Tabla 36</b> Prueba de jarra N° 14 con Policloruro de aluminio.....	79
<b>Tabla 37</b> Prueba de jarra N° 14 con Sulfato de aluminio.....	80
<b>Tabla 38</b> Parámetros fisicoquímicos de conductividad y pH con Policloruro de aluminio .....	81
<b>Tabla 39</b> Parámetros fisicoquímicos y remoción de los parámetros de turbiedad y color con Policloruro de aluminio .....	82
<b>Tabla 40</b> Parámetros fisicoquímicos de conductividad y pH con Sulfato de aluminio .....	83

<b>Tabla 41</b> Parámetros fisicoquímicos y remoción de los parámetros de turbiedad y color con Sulfato de aluminio.....	85
<b>Tabla 42</b> Comparación de resultados de turbiedad con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles .....	86
<b>Tabla 43</b> Comparación de resultados de color con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles.....	87
<b>Tabla 44</b> Comparación de resultados de PH con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles.....	88
<b>Tabla 45</b> Comparación de resultados de conductividad con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles .....	89
<b>Tabla 46</b> Prueba de normalidad Shapiro-Wilk .....	96
<b>Tabla 47</b> Prueba de Mann-Whitney U .....	97

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema general de un proceso de potabilización.....	23
<b>Figura 2</b> Mecanismo de coagulación.....	24
<b>Figura 3</b> Equipo completo de jarras de la marca Phipps & Bird.....	29
<b>Figura 4</b> Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro”.....	36
<b>Figura 5</b> Climograma de Cajamarca.....	42
<b>Figura 6</b> Comparación de conductividad entre Policloruro y Sulfato de aluminio .	99
<b>Figura 7</b> Comparación de turbiedad entre Policloruro y Sulfato de aluminio.....	100
<b>Figura 8</b> Comparación de color entre Policloruro y Sulfato de aluminio .....	101
<b>Figura 9</b> Comparación de PH entre Policloruro y Sulfato de aluminio.....	102
<b>Figura 10</b> Coagulantes policloruro de aluminio y sulfato de aluminio en una concentración al 1% .....	117
<b>Figura 11</b> Prueba de jarras con Policloruro de aluminio .....	117
<b>Figura 12</b> Preparación de coagulantes.....	118
<b>Figura 13</b> Programación del equipo de prueba de jarras .....	118
<b>Figura 14</b> Prueba de jarras con policloruro de aluminio .....	119
<b>Figura 15</b> Prueba de jarras con sulfato de aluminio .....	119
<b>Figura 16</b> Verificación de la prueba de jarra.....	120
<b>Figura 17</b> Toma de muestra de las 6 jarras para su análisis .....	120
<b>Figura 18</b> Medición de los parámetros en estudio.....	121
<b>Figura 19</b> Medición de color en espectrofotómetro.....	121
<b>Figura 20</b> Medición de conductividad y PH.....	122
<b>Figura 21</b> Medición de turbiedad en turbidímetro.....	122
<b>Figura 22</b> Pre sedimentador de la PTAP El Milagro.....	123

<b>Figura 23</b> Cámara de reunión de la PTAP El Milagro .....	123
<b>Figura 24</b> Unidad de coagulación de la PTAP El Milagro .....	124
<b>Figura 25</b> Unidad de floculación de la PTAP El Milagro .....	124
<b>Figura 26</b> Unidad de sedimentación de la PTAP El Milagro .....	125
<b>Figura 27</b> Unidad de filtración de la PTAP El Milagro.....	125
<b>Figura 28</b> Sistema de cloración de la PTAP El Milagro .....	126
<b>Figura 29</b> Casa de química de la PTAP El Milagro .....	126

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación utilizando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro” de la EPS SEDACAJ S.A., Cajamarca 2024. Se determinaron las dosis óptimas de cada coagulante mediante ensayos de jarras, analizando parámetros fisicoquímicos como turbiedad, color, pH y conductividad, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. La investigación fue de tipo experimental y cuantitativa, y consistió en la recolección de 336 litros de agua cruda, cuyas turbiedades fluctuaron entre 12.4 y 980 NTU. Los coagulantes se prepararon a una concentración del 1 % y los ensayos fueron complementados con un análisis estadístico para determinar los porcentajes de remoción. Los resultados mostraron que el PAC alcanzó una eficiencia promedio del 94.19 % en remoción de turbiedad y del 95.62 % en color, mientras que el sulfato de aluminio obtuvo 89.16 % y 91.43 %, respectivamente. En cuanto a la conductividad, ambos coagulantes generaron un aumento, más acentuado con el sulfato de aluminio. Respecto al pH, se observó una disminución del 31.1 % con sulfato de aluminio y del 4.65 % con PAC. Finalmente, se concluyó que el sulfato de aluminio representa una alternativa más económica para la operación diaria, sin comprometer la eficiencia del tratamiento.

**Palabra clave:** Policloruro de aluminio, sulfato de aluminio, coagulación, floculación, agua potable

## ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the efficiency of the coagulation-flocculation process using aluminum sulfate and polyaluminum chloride (PAC) at the “El Milagro” Drinking Water Treatment Plant of EPS SEDACAJ S.A., Cajamarca, 2024. The optimal dose of each coagulant was determined through jar tests, analyzing physicochemical parameters such as turbidity, color, pH, and electrical conductivity, in accordance with Supreme Decree No. 031-2010-SA. The research was experimental and quantitative in nature and involved the collection of 336 liters of raw water, with turbidity levels ranging from 12.4 to 980 NTU. The coagulants were prepared at a 1% concentration, and the tests were supported by statistical analysis to determine removal efficiencies. The results showed that PAC achieved an average turbidity removal efficiency of 94.19% and 95.62% for color, while aluminum sulfate reached 89.16% and 91.43%, respectively. Regarding conductivity, both coagulants caused an increase, more pronounced with aluminum sulfate. As for pH, a reduction of 31.1% was observed with aluminum sulfate and 4.65% with PAC. It was concluded that aluminum sulfate represents a more economical alternative for daily plant operation, without compromising treatment efficiency.

**Keywords:** Polyaluminum chloride, aluminum sulfate, coagulation, flocculation, drinking water.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

Proporcionar servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población constituye uno de los mayores desafíos a nivel mundial en la gestión hídrica. Este reto se intensifica debido al rápido crecimiento demográfico, que incrementa la demanda de agua, y las crecientes dificultades técnicas y financieras que implica su tratamiento y distribución (CONAGUA, 2019). Actualmente, más de 2 mil millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura, lo que repercute en la salud pública global, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021).

En el ámbito nacional, la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018) destaca que el deterioro de la calidad del agua es uno de los principales problemas que afecta tanto a la salud humana como a los ecosistemas acuáticos. Este deterioro se debe a la incorporación de agentes contaminantes en cuerpos de agua, lo que limita su uso para consumo humano y actividades económicas. Según estudios recientes, el 80% de las enfermedades en países en desarrollo están relacionadas con el consumo de agua contaminada.

La contaminación del agua es, sin duda, un factor determinante en el desarrollo humano. Influye directamente en la calidad de vida al comprometer la prestación de servicios esenciales como el suministro de agua potable en los hogares, afectando el bienestar integral de las familias. Las aguas superficiales, por ejemplo, contienen una variedad de materiales cuya naturaleza y tamaño determinan los métodos de tratamiento necesarios para garantizar su potabilidad (Andía, 2000).

Chama (2017) subraya que la turbiedad y el color del agua son resultado de la presencia de partículas coloidales que permanecen suspendidas por largos períodos. Estas partículas no pueden eliminarse fácilmente sin un tratamiento adecuado, lo que resalta la importancia de los procesos de coagulación y floculación. La coagulación desestabiliza las partículas en suspensión mediante la aplicación rápida de coagulantes químicos, mientras que la floculación facilita su aglomeración mediante una mezcla lenta, formando flocs que luego son eliminados por decantación y filtración (Galvis y Marín, 2020).

El sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio son coagulantes ampliamente utilizados en el tratamiento de agua en países como India, Estados Unidos y Brasil debido a su eficacia en la remoción de turbiedad y color. En la ciudad de Cajamarca, la planta de tratamiento de agua potable El Milagro, operada por la EPS SEDACAJ S.A., emplea estos productos químicos en sus procesos de tratamiento. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficacia de estos coagulantes en el proceso de coagulación y floculación, considerando parámetros físico-químicos como la turbidez, el color, el pH, la conductividad y el porcentaje de remoción. Estos análisis se realizarán en cumplimiento con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, establecido según el D.S. N.º 031-2010-SA.

El estudio también busca determinar la dosis óptima de cada coagulante para maximizar la eficiencia del tratamiento. La comparación de resultados antes y después de la aplicación de los coagulantes permitirá identificar el producto más efectivo y adaptado a las necesidades de la planta El Milagro, mejorando así la calidad del agua potable suministrada a la población de Cajamarca.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia del proceso de coagulación – floculación mediante sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en la planta de tratamiento de agua potable El Milagro de la EPS SECADAJ S.A. 2024?

## **1.3. Justificación de la investigación**

El agua potable es un recurso vital para la salud y el bienestar humano, por lo que garantizar su calidad es una prioridad para las autoridades responsables del suministro de agua. La planta de tratamiento de agua potable mencionada líneas arriba representa un caso específico que requiere una evaluación detallada de los procesos de tratamiento para optimizar su eficiencia y calidad del agua producida, garantizando de esta manera el suministro de agua segura y apta para el consumo humano; por lo que, esta investigación justifica su valor en la evaluación de la eficiencia del proceso de coagulación – floculación en lo que respecta al empleo de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en la planta potabilizadora “El Milagro”.

En cuanto al aspecto social, el acceso a agua potable de calidad es fundamental para la salud y el bienestar comunitario, y la garantía de la eficiencia de este proceso contribuye directamente a mejorar la salud pública y el bienestar social. Desde esta perspectiva ambiental, el tratamiento adecuado del agua es esencial para preservar el medio ambiente, y el uso de estos compuestos en el proceso de coagulación y floculación ayuda a reducir la carga de contaminantes en los cuerpos de agua receptores; beneficiando a los ecosistemas acuáticos y fomentando la sostenibilidad ambiental.

En términos tecnológicos, estos compuestos representan una tecnología consolidada y ampliamente utilizada en la industria del tratamiento de agua, ofreciendo una eficiencia

probada en la eliminación de contaminantes y sólidos suspendidos, lo que los convierte en una opción idónea para su aplicación en la planta de tratamiento y garantizar la calidad del agua suministrada a la población.

De otro lado, la investigación justifica su relevancia por contribuir a la generación de conocimiento y la validación de técnicas y procedimientos necesarios para el proceso investigativo, lo que a su vez dará lugar a nuevas investigaciones, protocolos y procesos que contribuyan a mejorar la gestión ambiental y la responsabilidad social en el ámbito.

#### **1.4. Delimitación de la investigación**

La presente investigación se llevó a cabo en el distrito de Cajamarca, específicamente en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Milagro”, operada por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDACAJ S.A. durante el primer semestre del año 2024.

El estudio se limitó al análisis del proceso de coagulación-floculación aplicado a una matriz de agua cruda, captada directamente desde la cámara de reunión de la PTAP, donde se recibe el caudal combinado de los afluentes Río Grande y Porcón. Esta agua cruda fue utilizada como base para la experimentación en laboratorio, con el objetivo de evaluar su comportamiento frente a procesos de potabilización.

Las pruebas experimentales se realizaron mediante una simulación a escala de laboratorio, utilizando un Equipo de Jarras (Jar Test) para replicar las condiciones operativas del sistema de tratamiento. Se desarrollaron diferentes ensayos de dosificación con productos

coagulantes tradicionales y un coagulante alternativo innovador: el Policloruro de aluminio (PAC), evaluado por su eficiencia en la remoción de turbiedad y materia orgánica.

La investigación se enmarca en el cumplimiento de los principios establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), que indican que toda persona debe contar con un suministro de agua suficiente, inocuo y accesible para su consumo. Asimismo, se consideraron los estándares de calidad del agua establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N.º 031-2010-SA).

Es importante destacar que el alcance del estudio no contempló el análisis completo del sistema de tratamiento de la PTAP, sino que se enfocó exclusivamente en la etapa de coagulación-floculación, por su relevancia en la clarificación del agua y como base crítica para las siguientes etapas del proceso (sedimentación y filtración). Tampoco se incluyeron análisis de parámetros microbiológicos, centrándose únicamente en características fisicoquímicas como turbiedad, pH y color aparente.

En resumen, la investigación se delimitó técnica y geográficamente a la evaluación de la eficiencia de coagulantes en el tratamiento del agua cruda de la cámara de reunión de la PTAP El Milagro, mediante pruebas controladas de laboratorio, con el fin de contribuir a la mejora del proceso de potabilización y garantizar el acceso a agua de calidad en la ciudad de Cajamarca.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Evaluar la eficiencia del proceso de coagulación – floculación mediante sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en la planta de tratamiento de agua potable El Milagro de la EPS SEDACAJ S.A. 2024.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

1. Determinar mediante ensayo de jarras la dosis óptima de policloruro de aluminio y sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación de los dos coagulantes propuestos.
2. Determinar los parámetros fisicoquímicos (turbiedad, color, pH y conductividad) y calcular la eficiencia de remoción de los parámetros de turbiedad y color.
3. Comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA.
4. Caracterizar físicamente la planta de tratamiento de agua potable El Milagro.
5. Elaborar un análisis simplificado de costos para evaluar cuál de los dos coagulantes es más económico.

## **1.6. Hipótesis General**

La eficiencia del proceso de coagulación-floculación, es mayor mediante policloruro aluminio; en relación al sulfato de aluminio en la planta de tratamiento de agua potable El Milagro de la EPS SEDACAJ S.A. 2024.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Noriega (2022) investigó el desempeño de los coagulantes policloruro de aluminio y sulfato de aluminio con el objetivo de determinar la dosis óptima que mejorara la calidad del agua en la planta de tratamiento Ecodazzi ESP. Como resultado se evidenció que el policloruro de aluminio (PAC) demostró una mayor eficiencia en comparación con el sulfato de aluminio líquido. A pesar de que el costo del PAC es superior al del sulfato de aluminio, los beneficios estimados durante la implementación del PAC como coagulante superaron a las combinaciones realizadas y a la condición actual.

Dorado y Mosquera (2021) evaluaron las alternativas de tratamiento químico para la nueva planta de tratamiento de agua potable en el Distrito tres del Municipio de Timbío, mediante los procesos físico-químicos y biológicos del recurso. Esto se llevó a cabo mediante los procesos de coagulación, floculación y desinfección escala laboratorio. Se realizaron pruebas con los coagulantes: sulfato de aluminio tipo A líquido, sulfato de aluminio tipo A granulado, hidroxiclورو de aluminio y policloruro de aluminio con una pureza del 100 %, estableciendo un rango de 8 a 20 mg/L en baja pluviosidad y de 10 a 42 mg/L en alta pluviosidad, encontrando que el más adecuado tanto por su rendimiento y economía para la fuente es el sulfato de aluminio granulado con un rango de 15 a 20 mg/L.

Galvis y Marín (2020) concluyeron que, la eficiencia para remoción de materiales suspendidos por medio del uso de los coagulantes: “sulfato de aluminio” y “Policloruro de aluminio” (PAC) para el tratamiento de agua potable; concluyeron que, basándose en los diferentes muestreos realizados, por lo que se puede afirmar que el policloruro de aluminio,

como coagulante, exhibe una mayor efectividad en la eliminación de la turbidez en comparación con el sulfato de aluminio. Por consiguiente, se considera que el policloruro de aluminio podría ser una opción potencialmente más adecuada para su aplicación en el tratamiento de agua potable en las plantas, ya que permite cumplir con los requisitos de calidad en términos de color y turbidez.

### ***2.1.2. Antecedentes Nacionales***

Vásquez y Villalobos (2023) el propósito de su investigación fue evaluar el efecto del sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio en los procesos de coagulación y floculación en la remoción de la turbiedad y los sólidos totales suspendidos de la vinaza. Donde se llevaron a cabo cuatro tratamientos utilizando el test de jarras: T1 = 0.02 g de sulfato de aluminio y 0.5 ml de policloruro de aluminio, T2 = 0.04 g de sulfato de aluminio y 1.0 ml de policloruro de aluminio, T3 = 0.06 g de sulfato de aluminio y 1.5 ml de policloruro de aluminio, y T4 = 0.08 g de sulfato de aluminio y 2.0 ml de policloruro de aluminio. Se concluyó que el tratamiento T2 fue el más efectivo en la remoción de la turbiedad (98.64 %), mientras que el tratamiento T1 fue óptimo para la eliminación de los sólidos totales suspendidos (94.52 %).

Medina (2021) evaluó y comparó el rendimiento de los coagulantes Sulfato de aluminio tipo A y policloruro de aluminio en el tratamiento de agua, con el objetivo de reducir su turbidez a menos de 25 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), tal como se requiere en una planta piloto de flotación. Se extrajeron 144 litros de agua destinados al proceso de flotación, para llevar a cabo un total de 6 pruebas de jarras utilizando sulfato de aluminio tipo A y otras 6 pruebas de jarras con policloruro de aluminio. Se realizó la medición de la turbidez inicial del agua, obteniendo un valor de 142.5 NTU. Estas pruebas permitieron determinar la dosis óptima de aplicación de los coagulantes, tras evaluar diferentes concentraciones que variaron

entre 40, 45, 50, 55, 60 y 65 ppm (mg/l). En conclusión, determinó que usando sulfato de aluminio tipo A, la menor turbidez residual se logró con una dosificación de 60 ppm, y con policloruro de aluminio fue de 50 ppm.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Agua**

El agua, un recurso natural esencial, se origina principalmente a través de las precipitaciones y sigue un ciclo que incluye un proceso natural de purificación. Sin embargo, su abundancia y capacidad de regeneración. La contaminación, tanto de origen natural como artificial, pueden afectar significativamente la calidad del agua, lo que destaca la importancia de considerar sus características específicas al implementar medidas de tratamiento adecuadas. En particular, cuando se trata de suministrar agua de calidad media a las poblaciones, es decir, agua potable que pueda ser consumida sin riesgos para la salud humana y cumpla con los estándares de calidad exigidos por los consumidores, se deben cumplir criterios especiales mediante un tratamiento específico (Sierra y Guatame, 2016)

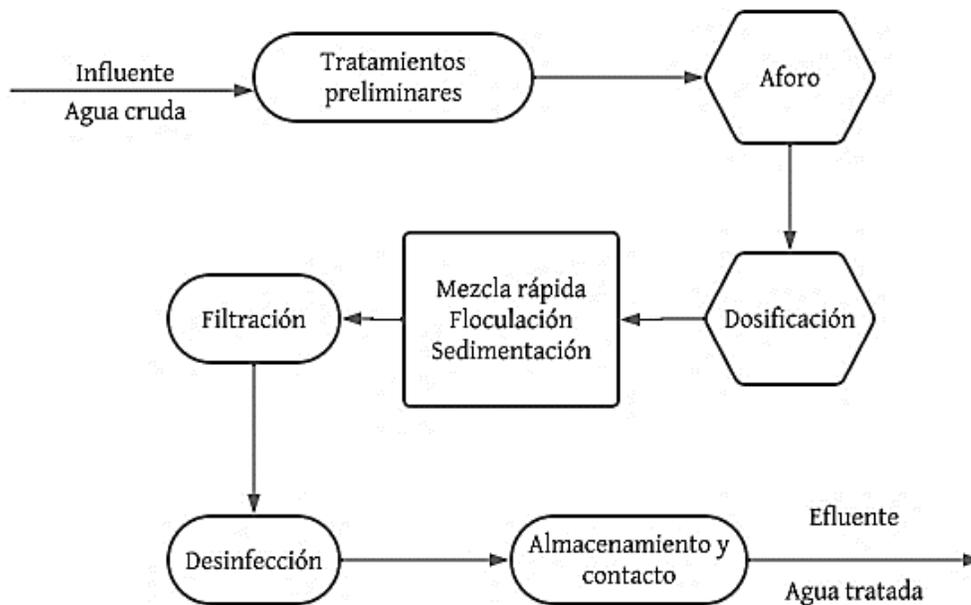
### **2.2.2. Tratamiento de Potabilización**

El tratamiento de agua potable es un proceso esencial destinado a eliminar o reducir los contaminantes presentes en el agua cruda con el fin de convertirla en un recurso seguro y adecuado para el consumo humano. Este procedimiento involucra una serie de etapas, que pueden comprender la coagulación, floculación, sedimentación y filtración para eliminar partículas sólidas, así como la desinfección para erradicar microorganismos patógenos. Además, se lleva a cabo la remoción de compuestos químicos y se realiza un ajuste del pH y la dureza del agua para cumplir con los estándares de calidad y salud establecidos por las autoridades sanitarias. El tratamiento de agua potable juega un papel crucial en la protección

de la salud pública y en asegurar el acceso a un suministro de agua seguro y de alta calidad para la población (Lozano y Lozano, 2015)

### Figura 1

*Esquema general de un proceso de potabilización*



*Fuente.* Lozano y Lozano (2015)

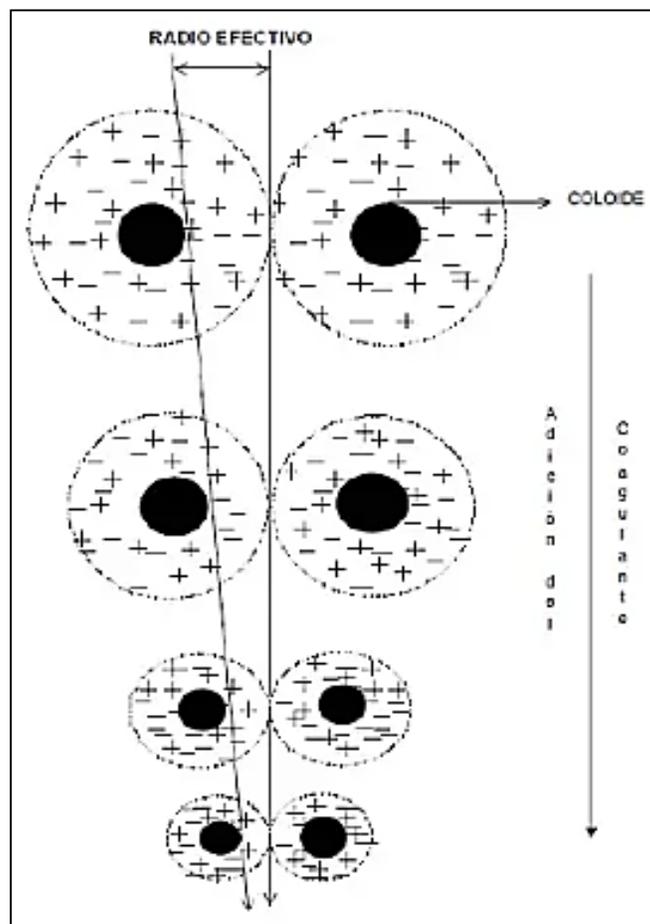
#### 2.2.3. *Proceso de coagulación*

Crittenden et al. (2012) señala que, la coagulación implica la adición de un coagulante con el fin de acondicionar la materia suspendida, coloidal y disuelta para su posterior procesamiento por floculación o para crear condiciones que permitan la posterior eliminación de partículas y materia disuelta. El objetivo del proceso de coagulación depende de la fuente del agua y de la naturaleza de los compuestos orgánico suspendidos, coloidales y disueltos. La coagulación mediante la adición de productos químicos hidrolizantes como sales de alumbre y hierro y/o polímeros puede implicar la desestabilización, adsorción y la creación

de partículas floculantes. Este proceso de coagulación generalmente ocurre en menos de 10 segundos.

## Figura 2

*Mecanismo de coagulación*



*Fuente.* Oré (2015)

Reacciones químicas en el proceso de coagulación:

- Sulfato de aluminio

Disolución en agua:



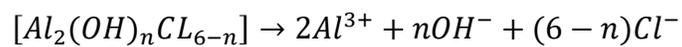
Hidrolisis del  $\text{Al}^{3+}$  en medio acuoso:



En este proceso disminuye el pH debido a la liberación de protones ( $\text{H}^+$ )

- Policloruro de aluminio

Liberación de especies coagulantes activas:



Hidrólisis del  $\text{Al}^{3+}$  (más eficiente que en sulfato):



Gracias a la prehidrolización, el policloruro de aluminio requiere menos alcalinidad y genera menor disminución de pH.

### **2.2.3.1. Factores que afectan el proceso de coagulación**

Arboleda (1992) menciona que, la coagulación es influenciada por una variedad de factores, incluyendo la cantidad de coagulantes, el nivel de pH, la presencia de coloides o turbidez, el color y la concentración de compuestos orgánicos en el agua, la presencia de aniones o cationes, la intensidad de la agitación inicial y la velocidad gradual de la mezcla, la movilidad electroforética de las partículas, y la temperatura del agua. Estos elementos, que suman ocho en total, contribuyen a un proceso complejo que puede ser modificado de diversas maneras.

#### 2.2.4. *Proceso de floculación*

La floculación es un proceso físico-químico en el tratamiento de agua potable que implica agregar coagulantes y/o floculantes al agua cruda, formando flóculos más grandes y visibles al unir partículas sólidas y coloidales suspendidas. Estos flóculos facilitan la eliminación posterior de las partículas en etapas como la sedimentación y la filtración. La floculación ocurre en tanques o unidades específicas donde el agua se mezcla lentamente para permitir que los flóculos se formen y crezcan. Controlar la velocidad de mezcla y el tiempo de retención asegura una formación de flóculos eficiente. El propósito principal de la floculación es mejorar la claridad y calidad del agua tratada al facilitar la remoción de partículas, cumpliendo así con los estándares de calidad y salud establecidos por las autoridades sanitarias en el suministro de agua potable (Lozano y Lozano, 2015)

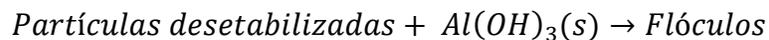
Reacciones químicas en el proceso de floculación:

Sulfato de Aluminio

Producto de la fase de coagulación



En esta fase, el  $\text{Al}(\text{OH})_3$  formado actúa como un coloide formando flóculos visibles, este fenómeno se representa de manera general en la siguiente expresión:

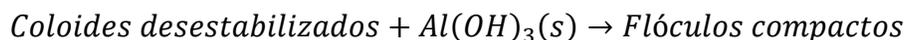


Policloruro de aluminio

Producto de la fase de coagulación



En la floculación, al igual que con el sulfato de aluminio, el  $\text{Al}(\text{OH})_3$  formado actúa como aglutinante de partículas, pero en este caso se genera flóculos más densos y rápidos y de sedimentar debido a su estructura prehidrolizada.



### **2.2.5. Prueba de jarras**

Satterfield (2009) indica que, la prueba de jarra es un método utilizado para simular el proceso de tratamiento de agua a gran escala, lo que permite a los operadores del sistema obtener una idea precisa de cómo funcionará y operará un producto químico de tratamiento con un tipo específico de agua cruda. Al imitar la operación a gran escala, los operadores pueden utilizar pruebas de jarras para determinar qué producto químico de tratamiento será más efectivo para su agua cruda. Este procedimiento implica ajustar la cantidad de productos químicos de tratamiento y la secuencia en la que se agregan a muestras de agua cruda contenidas en jarras o vasos de precipitados. Posteriormente, se agita la muestra para observar la formación, desarrollo y asentamiento de flóculos, de manera similar a lo que ocurre en la planta de tratamiento a gran escala cuando los químicos de tratamiento reaccionan con el material presente en el agua cruda.

El proceso se lleva a cabo en tres etapas: mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación, las cuales se detallan a continuación:

#### **2.2.5.1. Mezcla rápida.**

Esta fase garantiza una dispersión eficiente del coagulante al proporcionar la energía suficiente para que este entre en contacto con las partículas coloidales presentes en el agua, lo que resulta en la eliminación de la turbidez del agua en la zona de turbulencia si la dosis

es adecuada. En una prueba de jarras, esta fase tiene una duración aproximada de un minuto a 300 rpm, y durante la mitad del proceso se añade el coagulante para permitir su aglomeración (Rubio y Saravia, 2020)

#### **2.2.5.2. Mezcla lenta**

La etapa de mezcla lenta del proceso implica la combinación gradual y delicada del agua con los productos químicos de tratamiento. Durante este periodo, se busca fomentar la creación de flóculos más grandes y compactos a partir de las partículas coloidales presentes en el agua cruda. Esta fase se distingue por su velocidad de agitación más baja en comparación con la mezcla rápida, lo que permite una interacción prolongada entre el agua y los coagulantes o floculantes, facilitando así la formación y desarrollo de flóculos para una sedimentación posterior eficaz. La mezcla lenta desempeña un papel fundamental en el proceso de clarificación del agua en el tratamiento de agua potable, ya que contribuye de manera significativa a la eliminación de impurezas y a la mejora de la calidad del agua tratada (Andía, 2000)

#### **2.2.5.3. Sedimentación**

Se refiere al proceso en el cual las partículas sólidas y coloidales presentes en el agua cruda se depositan en el fondo del recipiente después de un tiempo específico. Este fenómeno posibilita la separación física de las impurezas del agua, lo que simplifica su posterior remoción y contribuye al proceso de clarificación del agua tratada. Durante la sedimentación en la prueba de jarras, se observa y registra la velocidad y eficiencia con la que ocurre el depósito de las partículas, lo que resulta crucial para evaluar la eficacia de los procesos de tratamiento y establecer los parámetros óptimos para la clarificación del agua en una escala mayor (Claros, 2015)

Un equipo de pruebas de jarras consta de seis paletas de agitación que mezclan el contenido de los vasos de precipitación. Cada jarra tiene una capacidad de dos litros y se mezcla a una velocidad controlada por un medidor de revoluciones en rpm. Además, incluye un sistema de iluminación que permite observar los parámetros visibles de cada jarra. En el panel de control, se puede ajustar el tiempo de rotación y la velocidad de las paletas de agitación. La ilustración 2 muestra un equipo completo de jarras de la marca Phipps & Bird con panel digital y programación secuencial (Satterfield, 2009)

### **Figura 3**

*Equipo completo de jarras de la marca Phipps & Bird*



#### **2.2.6. Dosis óptima**

La dosis óptima de sustancias químicas en el tratamiento de agua, se refiere a la cantidad precisa de productos químicos que deben ser añadidos al agua para lograr objetivos específicos, como desinfección, eliminación de contaminantes o ajuste del pH, sin exceder

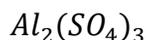
cantidades que puedan causar problemas de seguridad o calidad del agua. Es importante destacar que la dosis óptima puede variar según diversos factores, como la calidad del agua de entrada, los objetivos del tratamiento, el tipo de sustancia química utilizada y las condiciones operativas.

### ***2.2.7. Coagulantes***

Son compuestos químicos empleados en el tratamiento del agua con el propósito de promover la coagulación de partículas en suspensión que se encuentran en el agua sin tratar. Estas partículas generalmente son coloides o materiales finamente divididos que no pueden ser removidos eficazmente mediante los métodos de filtración convencionales. Los coagulantes actúan neutralizando las cargas eléctricas superficiales de estas partículas en suspensión, lo que ocasiona su aglutinación y la formación de flóculos más grandes que pueden ser eliminados a través de procesos de sedimentación y filtración. Algunos ejemplos comunes de coagulantes utilizados en el tratamiento de agua son el sulfato de aluminio, cloruro férrico y el policloruro de aluminio (PAC), entre otros (Dorado y Mosquera, 2021)

### ***2.2.8. Sulfato de aluminio***

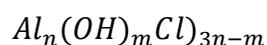
American Water Works Association (2010) define al sulfato de aluminio como un coagulante inorgánico ampliamente utilizado en el tratamiento de agua potable. Este compuesto, también conocido como alumbre, se emplea para aglutinar partículas finas y coloides presentes en el agua cruda, lo que facilita su eliminación posterior mediante procesos de sedimentación y filtración. Al reaccionar con el agua, el sulfato de aluminio forma hidróxidos de aluminio insolubles que atrapan las impurezas, contribuyendo así a mejorar la clarificación y la calidad del agua tratada y garantizando su idoneidad para el consumo humano.



La característica como catión metálico del aluminio está vinculada al agua en solución, interactuando tanto con los ácidos como con las bases presentes en ella. Este proceso resulta en un consumo y disminución del pH, ya que también reacciona con las bases que conforman la alcalinidad del agua. La dosificación típica de alumbre varía generalmente entre 5 y 50 mg/L para aguas naturales con un pH efectivo que oscila entre 5.5 y 8 (Pérez, 2017)

### ***2.2.9. Policloruro de aluminio***

El Policloruro de Aluminio (PAC) es un coagulante químico muy empleado en el tratamiento tanto de agua potable. Se caracteriza por ser un compuesto polimérico que integra cloruro y aluminio en su composición. El PAC resulta eficaz en la eliminación de partículas suspendidas, coloides y sustancias orgánicas presentes en el agua, lo que conlleva a una mejora en la clarificación y calidad del agua tratada (Gil y López, 2009)



Pérez (2017) indica que trata de una sal polimérica derivada del aluminio que facilita la formación de flóculos en un rango de pH más amplio, reduciendo la producción de lodos y eliminando la necesidad de utilizar polielectrolitos adicionales. Sin embargo, su costo es superior al del sulfato de aluminio o el cloruro férrico.

## **2.3. Definición de términos básicos**

### ***2.3.1. Eficiencia***

La eficiencia en el tratamiento de agua potable se refiere a la capacidad de un sistema de tratamiento para eliminar contaminantes y microorganismos del agua de manera efectiva, minimizando al mismo tiempo el consumo de recursos, como energía y productos químicos, y reduciendo los impactos ambientales (CONAGUA, 2019)

### **2.3.2. *Turbiedad***

Claros (2015) se refiere a la medida de la falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas suspendidas, coloidales o materiales disueltos. Estas partículas pueden incluir sedimentos, arcilla, materia orgánica, microorganismos y otros contaminantes que afectan la claridad del agua. La turbiedad se mide comúnmente en unidades de Nephelometric Turbidity Units (NTU) y es un indicador importante de la calidad del agua, ya que altos niveles de turbiedad pueden afectar negativamente su apariencia, sabor y seguridad para el consumo humano. Por lo tanto, controlar y reducir la turbiedad es un objetivo clave en el tratamiento de agua potable para garantizar que el agua cumpla con los estándares de calidad y sea segura para el consumo humano.

### **2.3.3. *Potencial de hidrogeno***

También conocido como pH, es una medida crítica en el tratamiento de agua potable, ya que indica su nivel de acidez o alcalinidad en una escala del 0 al 14, donde 7 representa la neutralidad, valores inferiores a 7 indican acidez y valores superiores a 7 indican alcalinidad, basándose en la concentración de iones de hidrógeno presentes. Este parámetro es fundamental para determinar la calidad y adecuación del agua para el consumo humano, ya que un pH extremadamente bajo o alto puede señalar la presencia de contaminantes o corrosión en las tuberías, lo que podría afectar tanto la salud como la infraestructura del sistema de distribución de agua. Por lo tanto, es crucial monitorear y ajustar el pH del agua potable durante su tratamiento para garantizar su seguridad y calidad (Galvis y Marín, 2020)

### **2.3.4. *Color***

Este parámetro hace referencia a la percepción visual que resulta de la presencia de diferentes sustancias disueltas, suspendidas o coloidales que otorgan tonalidades diversas al agua, como

amarillo, marrón, rojo o verde. Estas sustancias pueden tener origen natural, como materia orgánica, algas o minerales disueltos, o pueden ser consecuencia de actividades humanas, como la contaminación industrial o agrícola. La medición del color del agua se realiza comúnmente en unidades específicas, cuyos estándares pueden variar según el país o la región. La presencia de color en el agua potable puede servir como indicador de su calidad y puede influir en su aceptación estética para el consumo humano. Además, ciertos compuestos que generan color pueden indicar la presencia de otros contaminantes, por lo que es importante controlar y reducir el color del agua para asegurar su seguridad y calidad para el consumo humano (Caseros, 2008)

### ***2.3.5. Conductividad***

La conductividad en el tratamiento de agua potable está vinculada a la habilidad del agua para conducir corriente eléctrica debido a la presencia de iones disueltos, los cuales pueden tener cargas positivas o negativas y se derivan de sales disueltas como cloruros, sulfatos y carbonatos, entre otros. Esta característica se expresa comúnmente en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y constituye un indicador significativo de la cantidad total de sólidos disueltos en el agua, conocidos como TDS (Total Dissolved Solids). En el contexto del tratamiento de agua potable, la medición de la conductividad resulta útil para evaluar su calidad, ya que valores elevados pueden indicar la presencia de contaminantes o sales disueltas en concentraciones superiores a las deseables para el consumo humano. Además, la conductividad del agua puede servir como herramienta de monitoreo para evaluar la eficacia de los procesos de tratamiento, ya que cambios notables en este parámetro pueden indicar posibles problemas en la calidad del agua o en los procedimientos de tratamiento utilizados. Por consiguiente, la medición y control de la conductividad son aspectos esenciales en el

tratamiento de agua potable para garantizar su calidad y seguridad para el consumo humano (American Water Works Association, 2010)

**2.3.6. Límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA.**

DIGESA (2010) indica que analizar y determinar los límites máximos permisibles de pH, conductividad, turbidez y color en el tratamiento de agua potable es de suma importancia para garantizar la seguridad y calidad del agua destinada al consumo humano.

**Tabla 1**

*Límites máximos permisibles de calidad de agua para consumo humano*

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
Ph	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	$\mu\text{mho/cm}$	1 500

*Fuente.* DIGESA (2010)

### **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación Geográfica**

La presente investigación se realizará en el distrito de Cajamarca, se ubica al sur del departamento del mismo nombre, en las cabeceras de las cuencas del Jequetepeque, Chicama, Cajamarquino y Llaucano; exactamente en la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” de la EPS SEDACAJ S.A. (Ver anexo 2: Mapa de ubicación)

Sus límites son:

Norte: provincia de Hualgayoc, con coordenadas UTM: WGS 84 zona 17 Sur 764513.44 m E - 9251605.59 m S.

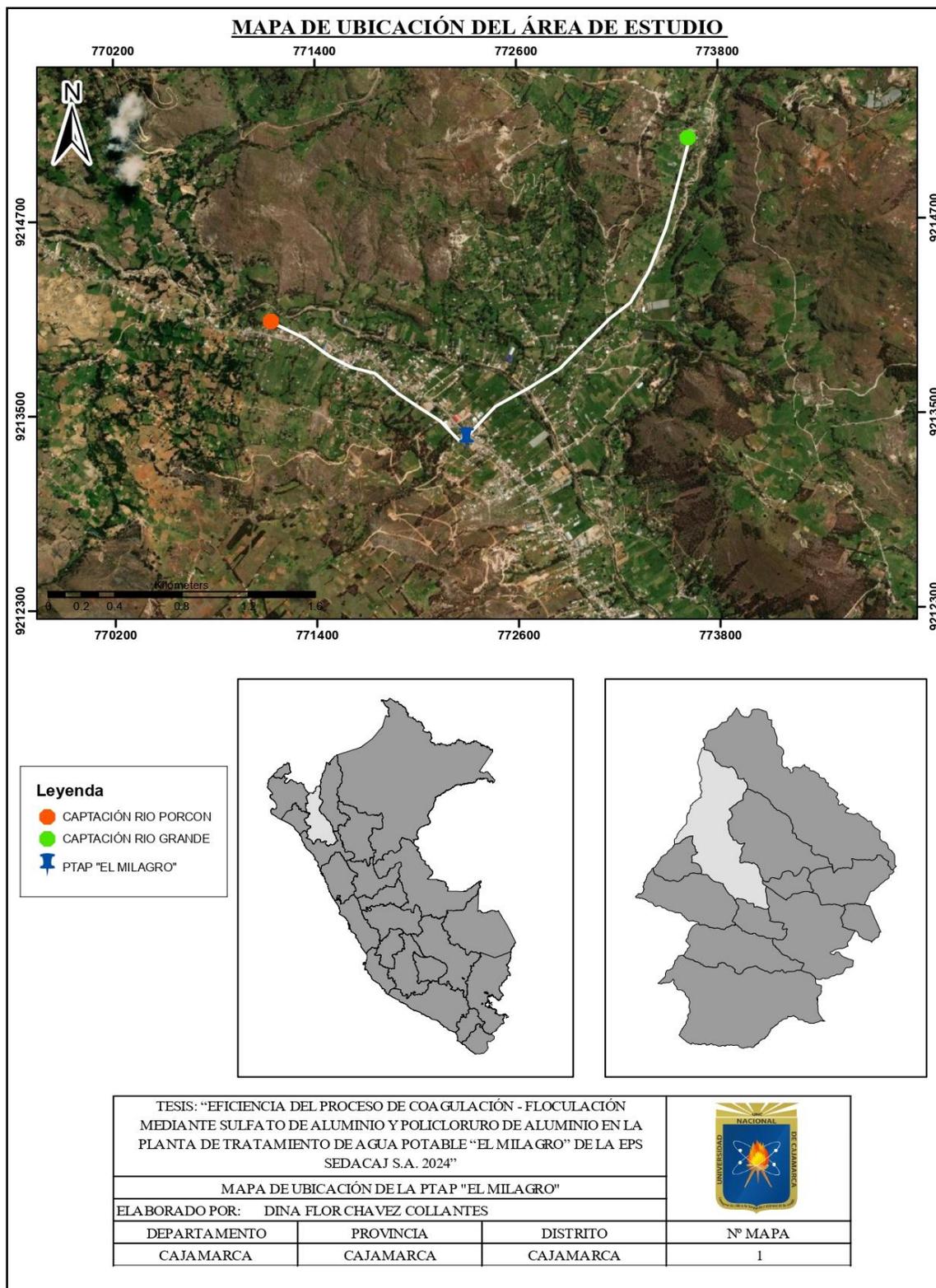
Sur: departamento de la Libertad, con coordenadas UTM: WGS-84 Zona 17 778220.32 m E - 9098958.82 m S.

Este: provincias de Celendín, con coordenadas UTM: WGS 84 zona 17 Sur 815593.84 m E - 9239980.72 m S; San Marcos con coordenadas UTM: WGS 84 zona 17 Sur 812639.96 m E - 9188147.86 m S y Cajabamba con coordenadas UTM: WGS 84 zona 17 Sur 826096.50 m E - 9155921.10 m S.

Oeste: provincias de Contumazá con coordenadas UTM: WGS 84 zona 17 Sur 742303.23 m E - 9185120.10 m S y San Pablo con coordenadas UTM: WGS 84 zona 17 Sur 740384.77 m E - 9212781.17 m S.

**Figura 4**

*Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro”*



## **3.2. Aspectos socioeconómicos y características físicas**

### **3.2.1. Demografía**

El distrito de Cajamarca, ubicado en la región de Cajamarca, Perú, presenta una compleja y diversa composición demográfica que ha sido moldeada por diversos factores históricos, culturales y económicos. Esta sección de la tesis busca proporcionar una visión general de la estructura demográfica del distrito, basada en datos actualizados provenientes de fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017)

#### **- Población total**

Según el último censo realizado por el INEI en el año 2017, la población total del distrito de Cajamarca alcanzó aproximadamente 29 381 884 habitantes.

#### **- Densidad poblacional**

La densidad poblacional del distrito de Cajamarca se estima en 87.7 habitantes por kilómetro cuadrado. Este indicador refleja la concentración de la población en áreas específicas del distrito y puede estar influenciado por factores geográficos y socioeconómicos.

### **3.2.2. Geología**

El departamento de Cajamarca presenta una compleja geología dominada por rocas sedimentarias de diferentes épocas geológicas (Cretáceo, Paleógeno-Neógeno y Cuaternario), que forman el sustrato sobre el cual se desarrollan los sistemas hídricos y de infraestructura sanitaria. La diversidad litoestratigráfica del área incluye unidades volcánicas, sedimentarias y depósitos recientes, con fracturas y procesos erosivos que influyen directamente en la captación, conducción y tratamiento del agua potable.

**Tabla 2***Clasificación de la Geología*

<b>COMPONENTES</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Captación Rio Grande	Formación Huambos	Tobas andesíticas y riolíticas, gris blanquecinas; brechas piroclásticas andesíticas, así como lavas de esta misma composición
Captación Porcón		Tobas andesíticas y riolíticas, gris blanquecinas; brechas piroclásticas andesíticas, así como lavas de esta misma composición
Línea de conducción de agua cruda desde captación Rio Grande hasta PTAP El Milagro	Depósito Fluvial	Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas transportadas en el cauce de río y quebradas.
Línea de conducción de agua cruda desde captación Porcón hasta PTAP El Milagro	Formación Huambos	Tobas andesíticas y riolíticas, gris blanquecinas; brechas piroclásticas andesíticas, así como lavas de esta misma composición
	Depósito Fluvial	Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas transportadas en el cauce de río y quebradas.
PTAP El Milagro	Depósito Coluvio- aluvial	Material detrítico subanguloso, en escasa matriz limoarcillosa y arenosa; conglomerados polimícticos poco consolidados, con clastos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa.

*Nota.* Clasificación de la Geología elaborado con información del proceso de la Zonificación Ecológica y Económica - ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca.

### - Condiciones Geomorfológicas

El departamento de Cajamarca refleja diferentes formas de relieve como resultado de los procesos endógenos relacionados con la tectodinámica, tales como el volcanismo, plegamiento, fallamiento; así como de los procesos morfodinámicos exógenos que modifican los paisajes o que están modelando otros nuevos, como la denudación en general y, en menor escala ciertas formas de degradación. A continuación, se detalla la descripción de cada componente del sistema de la EPS SEDACAJ.

**Tabla 3**

*Formas de relieve*

COMPONENTES	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Captación Rio Grande	RMC-rv	Montañas y colinas en roca volcánica.
Captación Porcón	P-al	Vertiente o piedemonte aluvio-lacustre.
PTAP El Milagro	RMCE-rs	Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria.
	P-al	Vertiente o piedemonte aluvio-lacustre.

### 3.2.3. Clima

El distrito de Cajamarca, ubicado en el norte de Perú, presenta un clima predominantemente templado de montaña, influenciado por su altitud y su ubicación geográfica en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes; para determinar los tipos de climas en la región de Cajamarca se ha tomado como base los estudios realizados por la Zonificación Ecológica y Económica del

Gobierno Regional – “Mapa Climático Departamento de Cajamarca”, en donde se ha determinado cinco tipos de climas: selva o ecuatorial (Af), estepa (BSw), desierto (BW), templado moderado lluvioso (Cw) y frío boreal (Dwb), el área de estudio presenta un clima como se muestra a continuación:

- **Cw:** Templado Moderado Lluvioso: C: Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden a la evaporación. Es clima donde se dan los bosques meso térmicos. “W”. Invierno seco, disminuye considerablemente la precipitación, la relación entre el mes más lluvioso y el mes más seco es de 10:1. Este clima templado moderado lluvioso es característico de todas las provincias del departamento de Cajamarca, variando desde el 2% en Contumazá hasta el 80% en Cutervo.

**Tabla 4**

*Distribución de los Diferentes Tipos de Clima, en la Provincia de Cajamarca*

Provincia	Af Selva o Ecuatorial	BSw Estepa	BW Sertico	Cw Templado moderado lluvioso	Dwb Frio Boreal
Cajamarca	-	5%	-	35%	60%

*Nota.* Distribución de los diferentes tipos de clima, en la Provincia de Cajamarca-SENAMHI.

- Temperatura

El clima de Cajamarca se caracteriza por tener temperaturas moderadas durante todo el año debido a su altitud. Durante el día, las temperaturas pueden alcanzar un promedio de 23°C, mientras que por la noche tienden a descender, registrando temperaturas mínimas de alrededor de 9°C. Estas variaciones térmicas diurnas son más pronunciadas en las estaciones secas y pueden atenuarse durante la época de lluvias.

#### - Precipitación

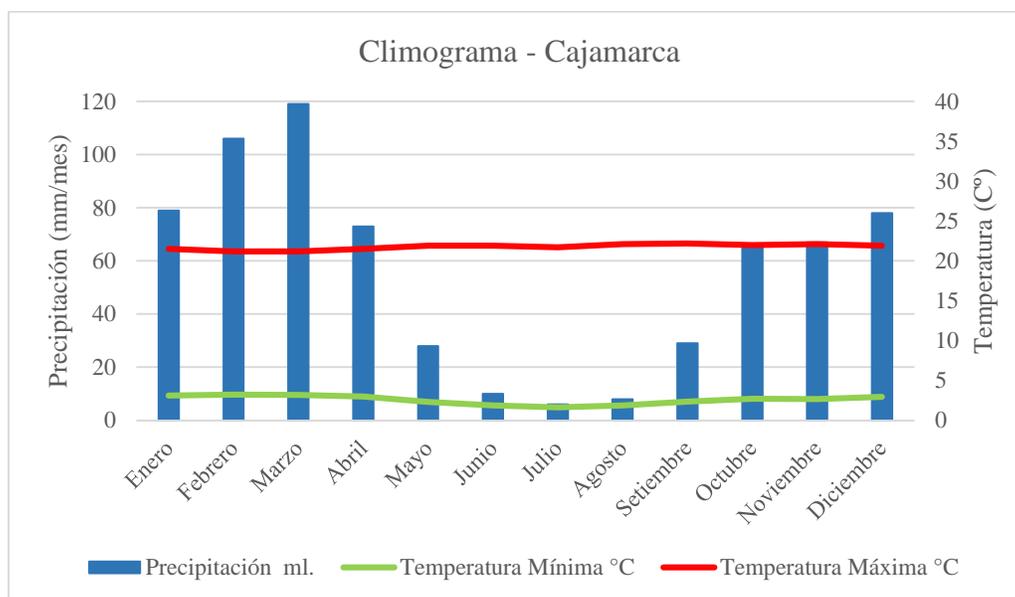
El distrito de Cajamarca experimenta dos estaciones climáticas principales: una estación seca que abarca los meses de abril a octubre y una estación lluviosa que va de noviembre a marzo. Durante la estación seca, la precipitación es escasa, con promedios mensuales de lluvia que rara vez superan los 20 mm. En contraste, durante la estación lluviosa, se observa un aumento significativo en la precipitación, con promedios mensuales que pueden alcanzar los 238 mm. Estas diferencias estacionales en la precipitación tienen un impacto significativo en la disponibilidad de recursos hídricos y en las actividades agrícolas locales.

#### - Humedad

La humedad relativa en el distrito de Cajamarca varía según la estación y la altitud. Durante la estación seca, la humedad relativa tiende a disminuir, alcanzando valores mínimos de alrededor del 68 %. En contraste, durante la estación lluviosa, se observa un aumento en la humedad relativa, con valores que pueden superar el 87 %. Estas variaciones en la humedad relativa pueden influir en la sensación térmica y en la percepción del clima por parte de la población local.

#### - Vientos

Los vientos en el distrito de Cajamarca son generalmente suaves y variables, con una dirección predominante que depende de la topografía local y de los sistemas meteorológicos regionales. Durante la estación seca, se pueden experimentar vientos más fuertes, especialmente en áreas expuestas y en las zonas de mayor altitud.

**Figura 5***Climograma de Cajamarca*

*Fuente.* SENAMHI (2020)

### 3.3. Materiales y equipos

- Libreta de apuntes
- Balde
- Guantes
- Balanza analítica
- Vasos de precipitación
- Equipo de prueba de jarras, equipo provisto de 6 agitadores planos; tiene como elementos adicionales vasos de 2 litros de capacidad, de forma cuadrada con una tubería de 4 mm de diámetro, para la extracción de muestra
- Un turbidímetro
- Un conductímetro

- Un espectrofotómetro
- Un pHmetro
- Fiola volumétrica
- Jeringas de diferente volumen.

### 3.4. Metodología del trabajo

#### 3.4.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

La presente investigación se fundamenta en la naturaleza de los objetivos y en la información recogida para la resolución del problema, clasificándose de esta manera, en un tipo de investigación experimental y cuantitativa.

**Tabla 5**

*Tipo y nivel de investigación*

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de investigación</b>
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Mixta
Objetivos (alcances)	Descriptiva – explicativa
Fuente de datos	Primaria
Control en el diseño de la prueba	Experimental
Temporalidad	Longitudinal (diacrónica)
Contexto donde sucede	Campo - Laboratorio
Intervención disciplinaria	Multidisciplinaria

#### **Diseño de investigación**

Se realizará un estudio experimental, con un diseño Completamente Randomizado.

El diseño experimental comprende los siguientes aspectos:

- GA: Grupo aleatorio. El grupo de prueba se conforma sobre una muestra de estudio.
- O1: Datos de pre-prueba. Los datos pre prueba corresponden a la medición de la variable dependiente.

- X: Diseño de prueba. Aplicación de la variable independiente. Tratamiento (Aplicación de Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio)
- O2: Datos de post-prueba. Los datos posteriores a la prueba corresponden a la medición de la variable dependiente.

### **3.4.2. Población de estudio**

El agua de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” de la EPS SEDACAJ S.A.

### **3.4.3. Muestra**

La muestra de la presente investigación es de 336 litros de agua recogida de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro” de la EPS SEDACAJ S.A.

### **3.4.4. Unidad de análisis**

Jarras de 2 litros analizadas con diferentes dosis de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio.

## **3.5. Procedimiento de trabajo**

El estudio se llevó a cabo en cuatro etapas diferentes.

### **a) Etapa preliminar de gabinete**

En esta etapa inicial se recopiló información existente, se revisó la literatura relevante, se contextualizó el problema, se explicó la justificación, se definió y explicó las bases teóricas y describió la metodología para el desarrollo de la presente investigación; este proceso será fundamental para que el desarrollo de dicho proyecto tenga una base sólida.

### **b) Etapa de campo**

- Se realizó las gestiones de permiso para poder tomar las muestras de agua en la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” y utilizar el laboratorio de Control de Procesos de la EPS SEDACAJ S.A., ante el gerente general de dicha empresa.

- Se identificó, reconoció y georreferenció el punto de muestreo de la planta. de tratamiento de agua potable “El Milagro” de la EPS SEDACAJ S.A.
- Las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio de Control de procesos de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” de la EPS SEDACAJ S.A. se tomarán las muestras de agua cruda en la cámara de reunión.

c) Etapa de laboratorio

En esta etapa se determinaron los parámetros de turbiedad, color, pH y conductividad para las muestras de agua cruda y se procederá a preparar las soluciones a una concentración del 1% de los dos coagulantes sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio; asimismo, se determinó la dosis óptima de cada coagulante realizando la prueba de jarras en el laboratorio de Control de Procesos de la EPS SEDACAJ S.A. para simular los procesos de coagulación – floculación del agua con las diferentes dosis de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio. Luego se determinó los parámetros fisicoquímicos de los 6 vasos del equipo de prueba de jarras.

d) Etapa de gabinete

En esta etapa se efectuó el cálculo de los porcentajes de remoción de cada parámetro en estudio para su comparación con los valores establecidos en el DS N° 031-2010-SA. Posteriormente, se registraron los datos en el Software Microsoft Excel y se realizaron el análisis e interpretación de resultados utilizando el Análisis de Varianza (ANOVA) en el paquete estadístico SPSS.

Se efectuaron 28 muestreos y se llevaron a cabo 2 pruebas de jarra semanales. En cada prueba de jarra se trataron 6 unidades, lo que dio un total de 168 unidades experimentales.

Factor de Tratamiento: Sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, a dosis (mg/l) de D1=5, D2=10, D3=15, D4=20, D5=25, D6=30 a una concentración única del (%) C1= 1 %, las combinaciones se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 6***Factor de tratamiento*

Factor	Niveles	
	Concentración (%)	Dosis (mg/l)
A = Sulfato de Aluminio	C1	D1,D2,D3,D4,D5,D6
		AD1, AD2, AD3, AD4, AD5, AD6
B = Policloruro de Aluminio	C1	D1,D2,D3,D4,D5,D6
		BD1, BD2, BD3, BD4, BD5, BD6

*Preparación de soluciones*

Las materias coagulantes, como el sulfato de aluminio líquido y el policloruro de aluminio, se encontraban muy concentradas para ser dosificadas de forma directa. Por lo tanto, se debió diluir para aplicar el volumen que el instrumento permitía (jeringas). Los datos previos que se tuvieron en cuenta para la preparación y aplicación del coagulante fueron la densidad y la concentración; con el valor de la densidad se determinó el valor de la concentración.

Vargas (2004) recomienda que en los laboratorios de las plantas de tratamiento es mejor preparar las soluciones para los ensayos con los mismos coagulantes que se usan en la planta, se prepara agregando agua destilada a 100 g de coagulante hasta completar el volumen de 1.000 mL, con lo que se obtiene una solución de 10% que se puede conservar como solución patrón, por uno o dos meses.

El ensayo de prueba de jarras se realizó diluyendo 10 mL de la solución patrón hasta completar 100 mL con agua destilada. Se obtuvo así una solución al 1%, la cual no se pudo conservar por más de 24 horas debido al riesgo de hidrolizarse y perder buena parte de su capacidad de coagulación.

### **Determinación de la dosis óptima de los coagulantes**

Se midieron volúmenes iguales (2000 mL) de muestra en cada uno de los vasos de precipitados, los cuales se ubicaron de tal manera que las paletas quedaran descentradas pero separadas de la pared del vaso de precipitado en aproximadamente 6,44 mm. Se registró la temperatura de la muestra al comienzo del ensayo. Los productos químicos de ensayo se cargaron en los soportes de los reactivos, utilizando un soporte para cada serie de adiciones de productos químicos. Se llenó cada tubo del soporte con agua hasta un volumen final antes de usar, y en caso de requerirse un volumen mayor de reactivos, se llenaron todos los tubos con agua hasta un volumen igual al mayor volumen de reactivo en el soporte correspondiente. Cuando se agregaron mezclas líquidas, se agitó el soporte para producir un movimiento en torbellino inmediatamente antes de la transferencia.

Se inició con el agitador múltiple operando a la velocidad de "mezcla instantánea" de aproximadamente 300 rpm, agregando la solución o las suspensiones de ensayo a niveles de dosis y secuencias predeterminadas. Después de las adiciones de los productos químicos, se mezcló instantáneamente durante aproximadamente 5 segundos, registrando el tiempo de mezcla instantánea y la velocidad (rpm). La velocidad se redujo según fuera necesario hasta 34 RPM para mantener uniformemente en suspensión las partículas de flóculos a lo largo del período de mezcla instantánea. Se mezcló en forma lenta durante 20 minutos, registrando el tiempo transcurrido para la primera formación visible de flóculos cada 5 minutos durante este período, así como el tamaño relativo de los flóculos y la velocidad del mezclador (rpm).

Después del período de mezcla lenta, se retiraron las paletas y se observó la sedimentación de las partículas de flóculos, registrando el tiempo requerido para que el volumen de las partículas se sedimentara. Si bien en la mayoría de los casos este tiempo fue necesario para que las partículas se sedimentaran en el fondo del vaso de precipitado, en algunos casos pudo haber interferencias

de corrientes de convección, en cuyo caso se registró el tiempo de sedimentación al cual las partículas no sedimentadas o residuales parecían estar moviéndose en forma igual hacia arriba y hacia abajo.

Después de 10 minutos de sedimentación, se registró la aparición de flóculos en el fondo del vaso de precipitados y se registró la temperatura de la muestra utilizando una pipeta o un sifón. Se extrajo de la jarra un volumen adecuado de muestra para realizar los análisis requeridos de turbidez, color, pH y conductividad.

Posteriormente, se determinó el porcentaje de remoción de los parámetros iniciales y finales utilizando los valores obtenidos en cada ensayo, utilizando la expresión matemática apropiada.

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

% Remoción: Eficiencia de remoción de cada parámetro en análisis.

C<sub>i</sub>: Concentración inicial de cada parámetro en análisis.

C<sub>f</sub>: Concentración final de cada parámetro en análisis.

Además, se observó el tamaño del flóculo producido y se evaluó cualitativamente según sus características. El tamaño se expresó de acuerdo al índice de Willcomb, detallado en el cuadro 1. Para determinar en segundos el tiempo que tardaba en aparecer el primer indicio de formación de flóculo, se utilizó uno de los sistemas para cuantificar la velocidad de la reacción. La iluminación de la base del agitador ayudó en esta determinación, aunque incluso así no siempre fue fácil, ya que el flóculo recién formado era casi incoloro. Por otra parte, el hecho de que el flóculo se forme más rápido no necesariamente indicaba que fuera el mejor.

**Tabla 7***Índice de floculación de Willcomb*

<b>Número del índice</b>	<b>Descripción</b>
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso. Flóculo bien formado per uniformemente distribuido. Sedimentación muy lenta o no sedimenta.
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.

*Fuente: Vargas (2004)*

Cada ensayo de prueba de jarra fue realizado bajo la supervisión del ingeniero químico encargado del laboratorio, las pruebas realizadas serán firmadas por el ingeniero encargado del laboratorio de control de procesos de la EPS SEDACAJ S.A.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis de resultados

Para evaluar la eficiencia del proceso de coagulación – floculación mediante sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en la planta de tratamiento de agua potable El Milagro de la EPS SEDACAJ S.A. 2024; se realizaron mediante ensayos de jarra para determinar la dosis óptima.

### **Evaluación de la eficiencia del proceso de coagulación – floculación mediante sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en la planta de tratamiento de agua potable**

Los resultados se detallan en las tablas siguientes:

**Tabla 8**

*Eficiencia del proceso de coagulación - floculación con Policloruro de aluminio*

N° Prueba	Turbiedad			Conductividad			Color			PH		
	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción
1	12.40	1.74	85.97	437.00	442.00	-1.14	82.00	6.00	92.68	7.56	7.39	2.25
2	49.70	1.39	97.20	435.00	439.00	-0.92	309.00	3.00	99.03	7.39	7.18	2.84
3	26.80	4.25	84.14	388.00	392.00	-1.03	69.00	14.00	79.71	7.29	7.15	1.92
4	32.70	4.21	87.13	352.00	356.00	-1.14	131.00	8.00	93.89	7.62	7.48	1.84
5	161.00	3.17	98.03	253.00	279.00	-10.28	550.00	6.00	98.91	7.60	6.64	12.63
6	39.40	3.04	92.28	343.00	349.00	-1.75	178.00	15.00	91.57	7.44	7.21	3.09
7	520.70	3.41	99.35	378.00	386.00	-2.12	327.00	12.00	96.33	7.67	6.86	10.56
8	356.00	3.70	98.96	386.00	405.00	-4.92	550.00	12.00	97.82	7.78	6.86	11.83
9	108.00	3.24	97.00	181.40	193.20	-6.50	550.00	9.00	98.36	7.90	7.34	7.09
10	980.00	4.26	99.57	314.00	342.00	-8.92	550.00	15.00	97.27	7.56	7.28	3.70
11	240.00	4.15	98.27	397.00	407.00	-2.52	550.00	11.00	98.00	7.55	7.26	3.84
12	71.50	4.86	93.20	402.00	409.00	-1.74	416.00	16.00	96.15	7.52	7.37	1.99
13	61.10	3.98	93.49	416.00	419.00	-0.72	300.00	11.00	96.33	7.60	7.27	4.34
14	91.40	4.87	94.67	398.00	402.00	-1.01	225.00	12.00	94.67	7.72	7.31	5.31

Los resultados obtenidos con el uso del policloruro de aluminio en el proceso de coagulación-floculación demuestra una alta eficiencia en la remoción de turbiedad y color, alcanzando una remoción promedio de 94.19%, con valores que oscilan entre 84.14% y 99.57%, demostrando una excelente capacidad del coagulante para eliminar sólidos suspendidos, incluso en muestras con alta carga inicial como la prueba 10 (980 NTU). En el caso del color, los resultados fueron igualmente satisfactorios, con una remoción promedio de 95.62%, y rangos que van desde 79.71% hasta 99.03%, lo que indica una eliminación eficiente de compuestos orgánicos y materiales coloidales. Por el contrario, la conductividad eléctrica mostró un comportamiento diferente, presentando en todos los casos un aumento (remociones negativas entre -0.72% y -10.28%), lo cual se atribuye a la incorporación de sales al medio producto del uso del coagulante, algo esperable en este tipo de tratamientos. Respecto al pH, se observó una ligera disminución con un promedio de reducción del 4.65%, variando entre 1.84% y 12.63%, lo que evidencia una tendencia a la acidificación del agua tratada, aunque los valores finales se mantuvieron dentro de un rango aceptable para consumo humano. En conjunto, los resultados respaldan la eficiencia técnica del policloruro de aluminio, especialmente en los parámetros críticos de turbiedad y color, y aunque presenta efectos secundarios sobre la conductividad y el pH, estos pueden ser gestionados adecuadamente en etapas posteriores del tratamiento.

**Tabla 9***Eficiencia del proceso de coagulación - floculación con Sulfato de aluminio*

N° Prueba	Turbiedad			Conductividad			Color			PH		
	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción
1.0	12.4	4.3	65.2	437.0	718.0	-64.3	82.0	19.0	76.8	7.6	5.5	27.4
2.0	49.7	4.9	90.2	435.0	809.0	-86.0	309.0	17.0	94.5	7.4	5.3	28.1
3.0	26.8	5.2	80.6	388.0	485.0	-25.0	69.0	16.0	76.8	7.3	5.1	30.3
4.0	32.7	5.2	84.2	352.0	385.0	-9.4	131.0	15.0	88.5	7.6	4.9	36.1
5.0	161.0	5.0	96.9	253.0	346.0	-36.8	550.0	14.0	97.5	7.6	5.0	34.7
6.0	39.4	4.9	87.5	343.0	429.0	-25.1	178.0	15.0	91.6	7.4	5.0	33.2
7.0	520.7	5.7	98.9	378.0	502.0	-32.8	327.0	12.0	96.3	7.7	5.3	31.2
8.0	356.0	4.3	98.8	386.0	454.0	-17.6	550.0	13.0	97.6	7.8	5.1	34.3
9.0	108.0	4.7	95.7	181.4	242.0	-33.4	550.0	15.0	97.3	7.9	5.0	36.7
10.0	980.0	5.1	99.5	314.0	401.0	-27.7	550.0	22.0	96.0	7.6	5.2	31.1
11.0	240.0	5.4	97.8	397.0	481.0	-21.2	550.0	19.0	96.5	7.6	5.1	32.6
12.0	71.5	5.2	92.7	402.0	480.0	-19.4	416.0	19.0	95.4	7.5	5.0	33.6
13.0	61.1	5.2	91.5	416.0	501.0	-20.4	300.0	10.0	96.7	7.6	4.1	45.8
14.0	91.4	5.5	94.0	398.0	502.0	-26.1	225.0	16.0	92.9	7.7	4.8	38.2

El análisis de esta segunda serie de pruebas con sulfato de aluminio evidencia una alta eficiencia en la remoción de turbiedad y color, aunque también pone de manifiesto efectos secundarios importantes en la conductividad eléctrica y el pH. En cuanto a la turbiedad, se observó una remoción promedio del 91.0%, con valores que van desde 65.2% (prueba 1) hasta 99.5% (prueba 10), lo cual confirma la fuerte capacidad del sulfato de aluminio como coagulante, incluso frente a aguas muy turbias. Respecto al color, también se logró una remoción promedio elevada de 93.4%, con máximos de 97.6% (prueba 8) y mínimos de 76.8% (pruebas 1 y 3), lo que refleja una notable efectividad en la eliminación de materia orgánica coloreada. No obstante, en el caso de la conductividad eléctrica, todas las pruebas arrojaron valores negativos de remoción, con un promedio de -31.1%, alcanzando hasta -86.0% (prueba 2), lo que indica un aumento en la

concentración de sales disueltas debido a la adición del sulfato de aluminio. Finalmente, el pH mostró una disminución constante en todas las pruebas, con una reducción promedio de 33.4%, siendo la más significativa del 45.8% (prueba 13), lo que implica una fuerte acidificación del agua tratada. En resumen, el sulfato de aluminio demuestra ser muy eficaz para mejorar la claridad y apariencia del agua, aunque es necesario controlar los efectos secundarios sobre la conductividad y el pH para asegurar la calidad final del agua tratada.

### **Determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio y sulfato de aluminio**

Los resultados de las pruebas realizadas en las fechas establecidas se muestran en las tablas detalladas a continuación:

**Tabla 10**

*Prueba de jarra N° 1 con Policloruro de aluminio*

05/03/2024		Prueba N° 1				
Parámetros iniciales	Policloruro de aluminio					
	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	437	12.4	16.5	82	7.56	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	442	1.74	16.9	6	7.39	
10	449	1.21	17.1	5	7.24	
15	456	0.98	17	3	7.05	
20	462	0.75	17.3	3	6.98	
25	467	1.25	17.2	5	6.84	
30	471	1.87	17.2	5	6.74	

En la prueba realizada el 05/03/2024, se evaluó el uso de 5 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 12.4 NTU a 1.74

NTU, y el color se redujo de 82 UCV a 6 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.56 a 7.39, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 437  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 442  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,5 °C a 16,9 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 11**

*Prueba de jarra N° 1 con Sulfato de aluminio*

05/03/2024		Prueba N° 1				
Parámetros iniciales	Sulfato de aluminio					
	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	437	12.4	16.5	82	7.56	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	486	6.98	16.8	28	6.49	
10	556	5.76	16.7	24	6.21	
15	643	5.86	16.8	24	5.87	
20	718	4.32	16.9	19	5.49	
25	758	3.87	17	18	5.24	
30	776	3.56	16.9	18	5.08	

En la prueba realizada el 05/03/2024, se evaluó el uso de 20 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 12.4 NTU a 4.32 NTU encontrándose dentro del límite máximo permisible, y el color se redujo de 82 UCV a 19 UCV, superando el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.56 a 7.39, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 437  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 718  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,5 °C a 16,9 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue

eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 12**

*Prueba de jarra N° 2 con Policloruro de aluminio*

06/03/2024		Prueba N° 2				
Parámetros iniciales	Policloruro de aluminio					
	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
Inicial	435	49.7	16.5	309	7.39	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	439	1.39	16.9	3	7.18	
10	441	0.99	17.1	2	6.82	
15	443	0.86	17	2	6.7	
20	445	2.1	16.7	5	6.62	
25	445	1.22	16.8	11	6.58	
30	446	1.3	16.9	4	6.37	

En la prueba realizada el 06/03/2024, se evaluó el uso de 5 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 49.7 NTU a 1.39 NTU, y el color se redujo de 309 UCV a 3 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.39 a 7.18, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 435  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 439  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,5 °C a 16,9 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 13***Prueba de jarra N° 2 con Sulfato de aluminio*

06/03/2024		Prueba N° 2				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros Iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	435	49.7	16.5	309	7.39	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	488	12.8	16.8	24	6.58	
10	558	10.24	16.9	20	6.24	
15	647	11.04	16.7	22	5.91	
20	722	5.21	16.5	15	5.57	
25	809	4.87	16.4	17	5.31	
30	886	4.32	16.8	14	4.98	

En la prueba realizada el 06/03/2024, se evaluó el uso de 25 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 49.7 NTU a 4.87 NTU encontrándose dentro del límite máximo permisible, y el color se redujo de 309 UCV a 17 UCV, superando el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.39 a 5.3, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 435  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 809  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,5 °C a 16,4 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 14***Prueba de jarra N° 3 con Policloruro de aluminio*

13/03/2024		Prueba N° 3				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	388	26.8	16.8	69	7.29	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	392	4.25	17.5	14	7.15	
10	394	3.87	17.6	12	6.97	
15	397	3.59	17.5	12	6.85	
20	401	2.54	17.4	11	6.69	
25	402	1.98	17.5	10	6.52	
30	405	1.24	17.4	9	6.48	

En la prueba realizada el 13/03/2024, se evaluó el uso de 5 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 26.8 NTU a 4.25 NTU, y el color se redujo de 69 UCV a 14 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.29 a 7.15, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 388  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 392  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,8 °C a 17,5 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 15***Prueba de jarra N° 3 con Sulfato de aluminio*

13/03/2024		Prueba N° 3				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	388	26.8	16.8	69	7.29	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	391	11.47	17.1	25	6.67	
10	402	10.32	17	24	6.12	
15	418	9.57	17.2	19	5.78	
20	432	8.64	17.2	22	5.64	
25	458	6.58	17.1	18	5.27	
30	485	5.21	17.2	16	5.08	

En la prueba realizada el 13/03/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 26.8 NTU a 5.21 NTU encontrándose fuera del límite máximo permisible, y el color se redujo de 69 UCV a 16 UCV, superando el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.29 a 5.08, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 388  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 485  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,8 °C a 17,2 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 16***Prueba de jarra N° 4 con Policloruro de aluminio*

14/03/2024		Prueba N° 4				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
		352	32.7	15.6	131	7.62
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	356	4.21	16.2	8	7.48	
10	360	3.78	16.3	7	7.18	
15	359	3.56	16.2	6	6.94	
20	363	3.24	16.4	4	6.82	
25	368	2.95	16.4	3	6.73	
30	370	2.79	16.4	3	6.58	

En la prueba realizada el 14/03/2024, se evaluó el uso de 5 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 32.7 NTU a 4.21 NTU, y el color se redujo de 131 UCV a 8 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.62 a 7.48, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 352  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 356  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 15,6 °C a 16,2 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 17***Prueba de jarra N° 4 con Sulfato de aluminio*

14/03/2024		Prueba N° 4				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	352	32.7	15.6	131	7.62	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	358	11.21	15.9	28	6.87	
10	366	8.97	16	24	6.27	
15	372	6.42	15.8	22	5.99	
20	379	5.98	16.1	19	5.47	
25	381	5.31	15.9	18	5.12	
30	385	5.17	16.2	15	4.87	

En la prueba realizada el 14/03/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 32.7 NTU a 5.17 NTU superando límite máximo permisible, y el color se redujo de 131 UCV a 15 UCV, encontrándose dentro el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.62 a 4.87, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 352  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 385  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 15,6 °C a 16,2 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 18***Prueba de jarra N° 5 con Policloruro de aluminio*

20/03/2024		Prueba N° 5				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	253	161	16.4	550	7.6	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	266	7.2	17.6	34	7.24	
10	274	6.75	17.5	19	6.96	
15	279	3.17	17.5	6	6.64	
20	281	5.31	17.5	4	6.37	
25	292	3.57	17.4	8	6.08	
30	300	1.78	17.4	6	5.82	

En la prueba realizada el 20/03/2024, se evaluó el uso de 15 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 161 NTU a 3.17 NTU, y el color se redujo de 550 UCV a 6 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.6 a 6.64, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 253  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 279  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,4 °C a 17,5 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 19***Prueba de jarra N° 5 con Sulfato de aluminio*

20/03/2024		Prueba N° 5				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	253	161	16.4	550	7.6	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	268	35.33	16.7	25	6.95	
10	277	15.32	16.6	23	6.26	
15	286	12.03	16.8	28	5.46	
20	306	8.78	16.5	31	5.34	
25	332	5.24	16.7	16	5.03	
30	346	4.97	16.8	14	4.96	

En la prueba realizada el 20/03/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 161 NTU a 4.97 NTU encontrándose dentro del límite máximo permisible, y el color se redujo de 550 UCV a 14 UCV, encontrándose dentro el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.6 a 4.96, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 253  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 346  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,4 °C a 16,8 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 20***Prueba de jarra N° 6 con Policloruro de aluminio*

21/03/2024		Prueba N° 6				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	343	39.4	17.1	178	7.44	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	349	3.04	17.9	15	7.21	
10	356	2.85	18.1	16	6.97	
15	360	3.29	18	17	6.84	
20	362	1.76	17.8	11	6.68	
25	364	1.58	17.8	14	6.16	
30	370	1.24	17.7	9	5.92	

En la prueba realizada el 21/03/2024, se evaluó el uso de 5 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 39.4 NTU a 3.04 NTU, y el color se redujo de 178 UCV a 15 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.44 a 7.21, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 343  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 349  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 17,1 °C a 17,9 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 21***Prueba de jarra N° 6 con Sulfato de aluminio*

21/03/2024		Prueba N° 6				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	343	39.4	17.1	178	7.44	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	357	15.27	17.7	34	6.09	
10	369	9.65	17.5	19	5.83	
15	391	8.87	17.5	21	5.12	
20	406	5.23	17.5	19	5.03	
25	429	4.91	17.6	15	4.97	
30	444	4.58	17.8	14	4.84	

En la prueba realizada el 21/03/2024, se evaluó el uso de 25 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 39.4 NTU a 4.91 NTU encontrándose dentro del límite máximo permisible, y el color se redujo de 178 UCV a 15 UCV, encontrándose dentro el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.44 a 4.97, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 343  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 429  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 17.1 °C a 17.6 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 22***Prueba de jarra N° 7 con Policloruro de aluminio*

29/03/2024		Prueba N° 7				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	378	520.7	16.1	327	7.67	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	382	19.47	17.2	32	7.49	
10	385	5.26	17.1	17	7.25	
15	386	3.41	17.1	12	6.86	
20	386	2.98	17	10	6.57	
25	390	1.78	17.3	8	6.42	
30	391	0.97	17.2	5	6.43	

En la prueba realizada el 29/03/2024, se evaluó el uso de 15 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 520.7 NTU a 3.41 NTU, y el color se redujo de 327 UCV a 12 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.67 a 6.86, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 378  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 386  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,1 °C a 17,1 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 23***Prueba de jarra N° 7 con Sulfato de aluminio*

29/03/2024		Prueba N° 7				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	378	520.7	16.1	327	7.67	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	385	48.2	16.5	45	7.05	
10	394	18.7	16.7	37	6.49	
15	417	15.4	16.6	32	6.39	
20	436	9.48	16.5	19	5.78	
25	487	7.22	16.5	21	5.46	
30	502	5.68	16.5	12	5.28	

En la prueba realizada el 29/03/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 520.7 NTU a 5.68 NTU superando el límite máximo permisible, y el color se redujo de 327 UCV a 12 UCV, encontrándose dentro el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.67 a 5.28, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 378  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 502  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16.1 °C a 16,5 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 24***Prueba de jarra N° 8 con Policloruro de aluminio*

02/04/2024		Prueba N° 8				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	386	356	18.2	550	7.78	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	394	15.13	18.7	36	7.51	
10	396	8.92	18.6	18	7.37	
15	410	8.65	18.5	17	7.21	
20	405	3.7	18.4	12	6.86	
25	408	3.26	18.3	15	6.57	
30	412	2.22	18.4	11	6.28	

En la prueba realizada el 02/04/2024, se evaluó el uso de 20 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 356 NTU a 3.7 NTU, y el color se redujo de 550 UCV a 12 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.78 a 6.86, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 386  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 405  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 18,2 °C a 18.4 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 25***Prueba de jarra N° 8 con Sulfato de aluminio*

02/04/2024		Prueba N° 8				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	386	356	18.2	550	7.78	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	394	52.87	18.2	32	6.32	
10	403	29.03	18.2	26	6.29	
15	415	17.65	18.0	22	6.03	
20	427	12.47	18.0	19	5.58	
25	443	6.79	18.1	17	5.26	
30	454	4.28	18.2	13	5.11	

En la prueba realizada el 02/04/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 356 NTU a 4.28 NTU encontrándose dentro del límite máximo permisible, y el color se redujo de 550 UCV a 13 UCV, encontrándose dentro el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.78 a 5.11, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 386  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 454  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 18,2 °C a 18,2 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 26***Prueba de jarra N° 9 con Policloruro de aluminio*

05/04/2024		Prueba N° 9				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	181.4	108	15.3	550	7.9	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	188.3	15.25	15.9	37	7.49	
10	193.2	3.24	15.7	9	7.34	
15	197	2.78	15.7	7	7.22	
20	200.4	2.33	15.6	8	7.02	
25	203.4	1.89	15.6	6	6.63	
30	206	2.01	15.9	9	6.52	

En la prueba realizada el 05/04/2024, se evaluó el uso de 10 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 108 NTU a 3.24 NTU, y el color se redujo de 550 UCV a 9 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.9 a 7.34, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 181.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 193.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 15,3 °C a 15,7 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 27***Prueba de jarra N° 9 con Sulfato de aluminio*

05/04/2024		Prueba N° 9				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	181.4	108	15.3	550	7.9	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	186	57.4	15.6	320	6.51	
10	193	25.6	15.8	33	6.48	
15	199	19.2	15.8	29	5.9	
20	207	11.7	15.7	22	5.36	
25	222	6.89	15.9	19	5.12	
30	242	4.68	15.9	15	5	

En la prueba realizada el 05/04/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 108 NTU a 4.68 NTU encontrándose dentro del límite máximo permisible, y el color se redujo de 550 UCV a 15 UCV, encontrándose dentro el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.9 a 5, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 181.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 242  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 15,3 °C a 15,9 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 28***Prueba de jarra N° 10 con Policloruro de aluminio*

08/04/2024		Prueba N° 10				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	314	980	15.4	550	7.56	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	325	48.7	15.7	277	7.37	
10	329	9.44	15.5	50	7.34	
15	342	4.26	15.4	15	7.28	
20	343	3.85	15.8	19	7.19	
25	353	3.71	15.9	14	7.03	
30	353	2.27	15.9	17	6.85	

En la prueba realizada el 08/04/2024, se evaluó el uso de 15 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 980 NTU a 4.27 NTU, y el color se redujo de 550 UCV a 15 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.56 a 7.28, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 314  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 342  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 15,4 °C a 15,4 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 29***Prueba de jarra N° 10 con Sulfato de aluminio*

08/04/2024		Prueba N° 10				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	314	980	15.4	550	7.56	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	328	237	15.7	358	6.48	
10	336	63.4	15.8	108	6.03	
15	353	21.5	15.8	79	5.97	
20	364	12.9	15.9	54	5.84	
25	384	8.47	16.1	38	5.57	
30	401	5.05	16.2	22	5.21	

En la prueba realizada el 21/03/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 980 NTU a 5.05 NTU superando el límite máximo permisible, y el color se redujo de 550 UCV a 22 UCV, superando el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.56 a 6.48, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 314  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 401  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 15,4 °C a 16,2 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 30***Prueba de jarra N° 11 con Policloruro de aluminio*

17/04/2024		Prueba N° 11				
Parámetros iniciales	Policloruro de aluminio					
	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	397	240	16.6	550	7.55	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	404	8.24	17.6	34	7.47	
10	407	4.15	17.5	11	7.26	
15	410	1.61	17.3	11	7.18	
20	412	1.98	17.1	13	6.99	
25	419	1.76	17.1	10	6.73	
30	423	1.7	17	13	6.48	

En la prueba realizada el 17/04/2024, se evaluó el uso de 10 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 240 NTU a 4.15 NTU, y el color se redujo de 550 UCV a 11 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.55 a 7.26, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 397  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 407  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,6 °C a 17,5 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 31***Prueba de jarra N° 11 con Sulfato de aluminio*

17/04/2024		Prueba N° 11				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	397	240	16.6	550	7.55	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	405	59.19	17.1	43	6.42	
10	416	36.89	17.0	32	6.32	
15	438	17.74	17.1	38	5.58	
20	449	9.61	17.2	39	5.29	
25	465	8.51	17.2	25	5.19	
30	481	5.38	16.9	19	5.09	

En la prueba realizada el 17/04/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 240 NTU a 5.38 NTU superando el límite máximo permisible, y el color se redujo de 550 UCV a 19 UCV, superando el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.55 a 5.09, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 397  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 481  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,6 °C a 16,9 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 32***Prueba de jarra N° 12 con Policloruro de aluminio*

23/04/2024		Prueba N° 12				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	402	71.5	17	416	7.52	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	409	4.86	17.9	16	7.37	
10	414	3.27	17.3	14	7.32	
15	417	3.93	17.5	22	7.11	
20	418	2.98	17.5	17	6.82	
25	422	2.95	17.5	9	6.49	
30	427	1.74	17.5	8	6.24	

En la prueba realizada el 23/04/2024, se evaluó el uso de 5 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 71.5 NTU a 4.86 NTU, y el color se redujo de 416 UCV a 16 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.52 a 7.37, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 402  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 409  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 17,0 °C a 17,9 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 33***Prueba de jarra N° 12 con Sulfato de aluminio*

23/04/2024		Prueba N° 12				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	402	71.5	17.0	416	7.52	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	409	15.97	17.6	29	6.47	
10	418	11.43	17.5	31	6.21	
15	432	9.65	17.6	33	5.52	
20	450	7.71	17.5	28	5.18	
25	468	6.19	17.5	22	5.04	
30	480	5.21	17.4	19	4.99	

En la prueba realizada el 23/04/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 71.5 NTU a 5.21 NTU superando el límite máximo permisible, y el color se redujo de 416 UCV a 19 UCV, superando el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.52 a 4.99, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 402  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 17,0 °C a 17,4 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 34***Prueba de jarra N° 13 con Policloruro de aluminio*

26/04/2024		Prueba N° 13				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	416	61.1	17.1	300	7.6	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	416	5.21	18.4	9	7.39	
10	419	3.98	18.6	11	7.27	
15	423	3.77	18.5	9	7.18	
20	426	3.48	18.7	10	6.94	
25	430	3.23	18.8	8	6.6	
30	438	2.7	18.8	7	6.3	

En la prueba realizada el 26/04/2024, se evaluó el uso de 10 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 61.1 NTU a 3.98 NTU, y el color se redujo de 300 UCV a 11 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.6 a 7.27, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 416  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 419  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 17,1 °C a 18,6 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 35***Prueba de jarra N° 13 con Sulfato de aluminio*

26/04/2024		Prueba N° 13				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	416	61.1	17.1	300	7.6	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	431	17.3	17.5	29	6.87	
10	452	13.5	17.5	22	5.42	
15	467	10.7	17.6	18	5.28	
20	473	9.6	17.4	16	4.75	
25	497	7.5	17.6	12	4.26	
30	501	5.2	17.7	10	4.12	

En la prueba realizada el 26/04/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 61.1 NTU a 5.2 NTU superando el límite máximo permisible, y el color se redujo de 300 UCV a 10 UCV, encontrándose dentro del Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.6 a 4.12, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 416  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 501  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 17,1 °C a 17,7 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 36***Prueba de jarra N° 14 con Policloruro de aluminio*

09/05/2024		Prueba N° 14				
		Policloruro de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	398	91.4	16.8	225	7.72	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	402	4.87	17.2	12	7.31	
10	403	3.91	17.1	10	7.19	
15	404	2.32	17	9	6.95	
20	404	1.87	17.2	8	6.84	
25	405	1.29	17.3	7	6.76	
30	406	0.95	17.3	6	6.51	

En la prueba realizada el 09/05/2024, se evaluó el uso de 5 ml de policloruro de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua, obteniendo resultados que cumplen con los estándares de calidad para consumo humano. La turbiedad disminuyó significativamente de 91.4 NTU a 4.87 NTU, y el color se redujo de 225 UCV a 12 UCV, ambos dentro de los Límites Máximos Permisibles ( $\leq 5$  NTU y  $\leq 15$  UCV, respectivamente). El pH pasó de 7.72 a 7.31, manteniéndose dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 398  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 402  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,8 °C a 17,2 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Tabla 37***Prueba de jarra N° 14 con Sulfato de aluminio*

09/05/2024		Prueba N° 14				
		Sulfato de aluminio				
Parámetros iniciales	Conductividad	Turbiedad	Temperatura	Color	PH	
	398	91.4	16.8	225	7.72	
Volumen	Conductividad final	Turbiedad final	Temperatura final	Color final	PH final	
5	412	33.7	17.1	35	6.42	
10	439	15.6	17.3	25	6.22	
15	475	13.7	17.2	23	5.87	
20	509	9.85	17.4	22	5.64	
25	498	6.24	17.3	19	5.32	
30	502	5.49	17.3	16	4.77	

En la prueba realizada el 09/05/2024, se evaluó el uso de 30 ml de sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de agua. La turbiedad disminuyó significativamente de 91.4 NTU a 5.49 NTU superando el límite máximo permisible, y el color se redujo de 225 UCV a 16 UCV, superando el Límite Máximo Permisible. El pH pasó de 7.72 a 4.77, se encuentra fuera del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que la conductividad aumentó ligeramente de 398  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 502  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un cambio esperado y controlado. La temperatura registró un leve incremento de 16,8 °C a 17,3 °C, sin afectar el proceso. Estos resultados indican que la dosis empleada fue eficiente, logrando una remoción significativa de contaminantes y asegurando la calidad del agua tratada.

**Determinación de los parámetros fisicoquímicos (turbiedad, color, pH y conductividad) y cálculo de la eficiencia de remoción de los parámetros de turbiedad y color**

**Tabla 38**

*Parámetros fisicoquímicos de conductividad y pH con Policloruro de aluminio*

N° Prueba	Conductividad		PH	
	Inicial	Final	Inicial	Final
1	437.00	442.00	7.56	7.39
2	435.00	439.00	7.39	7.18
3	388.00	392.00	7.29	7.15
4	352.00	356.00	7.62	7.48
5	253.00	279.00	7.60	6.64
6	343.00	349.00	7.44	7.21
7	378.00	386.00	7.67	6.86
8	386.00	405.00	7.78	6.86
9	181.40	193.20	7.90	7.34
10	314.00	342.00	7.56	7.28
11	397.00	407.00	7.55	7.26
12	402.00	409.00	7.52	7.37
13	416.00	419.00	7.60	7.27
14	398.00	402.00	7.72	7.31

En las 14 pruebas realizadas, se evidencia un ligero incremento en la conductividad eléctrica del agua tratada en todas las muestras, lo cual concuerda con la liberación de iones cloruro y otras especies solubles como resultado del hidrólisis del PAC. Este incremento es moderado, destacando la prueba 5 con un aumento de 253 a 279  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la prueba 10 de 314 a 342  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que puede atribuirse a una mayor presencia de sales disueltas generadas por la desestabilización de coloides. En cuanto al pH, se nota una tendencia a la disminución, coherente con el comportamiento

levemente ácido del PAC durante su hidrólisis, ya que genera protones ( $H^+$ ) en el medio. Las caídas más marcadas de pH se observan en la prueba 5 (de 7.60 a 6.64) y la prueba 8 (de 7.78 a 6.86), indicando una posible sobredosificación del coagulante o baja alcalinidad del agua, condiciones que pueden afectar la eficiencia del proceso si no se controlan adecuadamente. En general, el PAC muestra un buen desempeño en términos de estabilidad del pH y baja variación en conductividad, lo que lo hace un coagulante eficaz y menos agresivo en comparación con otros, como el sulfato de aluminio.

**Tabla 39**

*Parámetros fisicoquímicos y remoción de los parámetros de turbiedad y color con Policloruro de aluminio*

N° PRUEBA	Turbiedad inicial	Turbiedad final	%Remoción	Color inicial	Color final	%Remoción
1	12.4	1.74	85.97	82	6	92.68
2	49.7	1.39	97.20	309	3	99.03
3	26.8	4.25	84.14	69	14	79.71
4	32.7	4.21	87.13	131	8	93.89
5	161	3.17	98.03	550	6	98.91
6	39.4	3.04	92.28	178	15	91.57
7	520.7	3.41	99.35	327	12	96.33
8	356	3.7	98.96	550	12	97.82
9	108	3.24	97.00	550	9	98.36
10	980	4.26	99.57	550	15	97.27
11	240	4.15	98.27	550	11	98.00
12	71.5	4.86	93.20	416	16	96.15
13	61.1	3.98	93.49	300	11	96.33
14	91.4	4.87	94.67	225	12	94.67

El análisis de los resultados demuestra que el tratamiento con policloruro de aluminio es altamente efectivo para la remoción de turbiedad y color en el agua, logrando porcentajes de eliminación de turbiedad entre 84.14% y 99.57%, y de color entre 79.71% y 99.03%. Los valores iniciales de turbiedad oscilaron entre 12.4 NTU y 980 NTU, mientras que los finales se redujeron significativamente a un rango de 1.39 NTU a 4.87 NTU. Asimismo, el color inicial varió entre 69 y 550 UC, alcanzando valores finales de 3 a 16 UC tras el tratamiento. Las mayores eficiencias se observaron en pruebas con altos valores iniciales, lo que evidencia la capacidad del tratamiento para manejar cargas elevadas (en época de lluvia). En general, más del 90% de remoción en la mayoría de las pruebas confirman la eficacia del proceso para mejorar la calidad del agua y su potencial aplicación.

**Tabla 40**

*Parámetros fisicoquímicos de conductividad y pH con Sulfato de aluminio*

Nº de prueba	Conductividad		PH	
	inicial	final	inicial	final
1.00	437.00	718.00	7.56	5.49
2.00	435.00	809.00	7.39	5.31
3.00	388.00	485.00	7.29	5.08
4.00	352.00	385.00	7.62	4.87
5.00	253.00	346.00	7.60	4.96
6.00	343.00	429.00	7.44	4.97
7.00	378.00	502.00	7.67	5.28

8.00	386.00	454.00	7.78	5.11
9.00	181.40	242.00	7.90	5.00
10.00	314.00	401.00	7.56	5.21
11.00	397.00	481.00	7.55	5.09
12.00	402.00	480.00	7.52	4.99
13.00	416.00	501.00	7.60	4.12
14.00	398.00	502.00	7.72	4.77

---

En las pruebas realizadas con sulfato de aluminio, se observa un aumento significativo en la conductividad eléctrica del agua, lo cual es coherente con la naturaleza de este coagulante, que al disolverse libera una considerable cantidad de iones sulfato y aluminio, aumentando la concentración de sales disueltas en el medio. Las variaciones más notables se presentan en la prueba 2 (de 435 a 809  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y prueba 1 (de 437 a 718  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), indicando una alta carga iónica residual luego del tratamiento, lo que podría estar relacionado con una sobredosificación del coagulante o una eficiencia limitada en la formación de flóculos completos. En relación al pH, el descenso es mucho más marcado que en las pruebas con policloruro de aluminio, revelando una mayor acidificación del medio. En todos los casos, el pH final desciende por debajo de 5.5, llegando incluso a un valor de 4.12 en la prueba 13, lo cual podría comprometer la calidad final del agua tratada y afectar procesos posteriores si no se ajusta la alcalinidad. Esta fuerte caída del pH se debe a la liberación de protones ( $\text{H}^+$ ) durante la hidrólisis del sulfato de aluminio, un fenómeno característico de este coagulante. En conclusión, el sulfato de aluminio, presenta mayores impactos sobre los parámetros físico-químicos del agua tratada, siendo crucial un control

estricto de la dosis y una eventual corrección del pH mediante alcalinizantes si se busca un tratamiento más equilibrado.

**Tabla 41**

*Parámetros fisicoquímicos y remoción de los parámetros de turbiedad y color con Sulfato de aluminio*

N° PRUEBA	Turbiedad inicial	Turbiedad final	%Remoción	Color inicial	Color final	%Remoción
1	12.4	4.32	65.16	82	19	76.83
2	49.7	4.87	90.20	309	17	94.50
3	26.8	5.21	80.56	69	16	76.81
4	32.7	5.17	84.19	131	15	88.55
5	161	4.97	96.91	550	14	97.45
6	39.4	4.91	87.54	178	15	91.57
7	520.7	5.68	98.91	327	12	96.33
8	356	4.28	98.80	550	13	97.64
9	108	4.68	95.67	550	15	97.27
10	980	5.05	99.48	550	22	96.00
11	240	5.38	97.76	550	19	96.55
12	71.5	5.21	92.71	416	19	95.43
13	61.1	5.2	91.49	300	10	96.67
14	91.4	5.49	93.99	225	16	92.89

La tabla muestra los resultados del proceso de coagulación-floculación con sulfato de aluminio en la remoción de turbiedad y color en 14 pruebas, evaluando los valores iniciales y finales de estos

parámetros junto con su porcentaje de remoción. La turbiedad inicial varía entre 12.4 UNT y 980 UNT, mientras que la turbiedad final se mantiene en un rango estrecho de 4.28 UNT a 5.68 UNT, logrando remociones del 65.16% al 99.48%. En cuanto al color, los valores iniciales oscilan entre 69 UPC y 550 UPC, reduciéndose tras el tratamiento a un intervalo de 10 UPC a 22 UPC, con eficiencias de remoción entre el 76.81% y el 97.64%. Los resultados indican que el sulfato de aluminio es altamente eficaz en la reducción de ambos parámetros, mostrando altos porcentajes de remoción incluso en muestras con elevada contaminación, lo que confirma su idoneidad para mejorar la calidad del agua en procesos de potabilización.

**Comparación de los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA.**

**Tabla 42**

*Comparación de resultados de turbiedad con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles*

N° PRUEBA	Turbiedad final PAC (NTU)	Turbiedad final Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (NTU)	LMP (NTU)
1	1.74	4.32	
2	1.39	4.87	
3	4.25	5.21	
4	4.21	5.17	
5	3.17	4.97	
6	3.04	4.91	5
7	3.41	5.68	
8	3.7	4.28	
9	3.24	4.68	
10	4.26	5.05	
11	4.15	5.38	

12	4.86	5.21
13	3.98	5.2
14	4.87	5.49

La tabla compara los valores de turbiedad final obtenidos con Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio ( $Al_2SO_4$ ) en 14 pruebas, contrastándolos con el Límite Máximo Permisible (LMP) de 5 NTU establecido en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Los resultados muestran que el tratamiento con PAC genera valores de turbiedad final menores, variando entre 1.39 NTU y 4.87 NTU, mientras que con  $Al_2SO_4$  los valores finales se encuentran entre 4.28 NTU y 5.68 NTU. Se observa que todas las muestras tratadas con PAC cumplen con el LMP, mientras que algunas pruebas con  $Al_2SO_4$  superan ligeramente este límite, lo que indica que el PAC es más eficiente en la reducción de turbiedad y permite cumplir con la normativa de manera más consistente.

### Tabla 43

*Comparación de resultados de color con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles*

N° PRUEBA	Color final PAC (UCV)	Color final $Al_2SO_4$ (UCV)	LMP (NTU)
1	6	19	
2	3	17	
3	14	16	
4	8	15	
5	6	14	15
6	15	15	
7	12	12	
8	12	13	

9	9	15
10	15	22
11	11	19
12	16	19
13	11	10
14	12	16

La tabla compara los valores de color final obtenidos con Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{SO}_4$ ) en 14 pruebas, contrastándolos con el Límite Máximo Permisible (LMP) de 15 unidades establecido en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Los resultados muestran que el tratamiento con PAC genera valores de color final más bajos, variando entre 3 y 16, mientras que con  $\text{Al}_2\text{SO}_4$  los valores finales oscilan entre 10 y 22. Se observa que todas las muestras tratadas con PAC cumplen con el LMP o se encuentran muy cerca del límite, mientras que con  $\text{Al}_2\text{SO}_4$  algunas pruebas superan el valor permitido, especialmente en las pruebas 1, 10, 11 y 12. Esto indica que el PAC es más eficiente en la reducción del color y permite cumplir con la normativa de manera más consistente en comparación con el  $\text{Al}_2\text{SO}_4$ .

#### Tabla 44

*Comparación de resultados de PH con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles*

N° PRUEBA	PH final PAC	PH final $\text{Al}_2\text{SO}_4$	LMP (PH)	
1	7.39	5.49		
2	7.18	5.31		
3	7.15	5.08		
4	7.48	4.87	6.5	8.5
5	6.64	4.96		
6	7.21	4.97		
7	6.86	5.28		

8	6.86	5.11
9	7.34	5
10	7.28	5.21
11	7.26	5.09
12	7.37	4.99
13	7.27	4.12
14	7.31	4.77

La tabla compara los valores de pH final obtenidos con Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio ( $Al_2SO_4$ )<sub>3</sub> en 14 pruebas, contrastándolos con el rango del Límite Máximo Permisible (LMP) de 6.5 a 8.5 establecido en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Los resultados muestran que el tratamiento con PAC mantiene el pH dentro del rango permitido en todas las pruebas, con valores entre 6.64 y 7.48, mientras que el tratamiento con ( $Al_2SO_4$ )<sub>3</sub> genera una disminución significativa del pH, con valores entre 4.12 y 5.49, quedando todas las pruebas fuera del rango normativo. Esto indica que el uso de ( $Al_2SO_4$ )<sub>3</sub> requiere una corrección posterior del pH para cumplir con los estándares de calidad del agua, mientras que el PAC permite mantener un equilibrio más adecuado sin necesidad de ajustes adicionales.

#### Tabla 45

*Comparación de resultados de conductividad con Policloruro de aluminio y Sulfato de aluminio con los Límites máximos permisibles*

N° prueba	Conductividad final PAC (umho/cm)	Conductividad final $Al_2SO_4$ (umho/cm)	LMP
1	442	718	
2	439	809	
3	392	485	1500
4	356	385	

5	279	346
6	349	429
7	386	502
8	405	454
9	193.2	242
10	342	401
11	407	481
12	409	480
13	419	501
14	402	502

---

La tabla compara los valores de conductividad final obtenidos con Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio ( $Al_2SO_4)_3$  en 14 pruebas, contrastándolos con el Límite Máximo Permisible (LMP) de 1500  $\mu S/cm$  establecido en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Los resultados muestran que tanto el PAC como el ( $Al_2SO_4)_3$  generan valores de conductividad muy por debajo del límite normativo, con rangos de 193.2 a 442  $\mu S/cm$  para el PAC y de 242 a 809  $\mu S/cm$  para el ( $Al_2SO_4)_3$ . Aunque ambos coagulantes cumplen con el estándar, el ( $Al_2SO_4)_3$  tiende a generar valores más elevados de conductividad en comparación con el PAC, lo que sugiere que el PAC podría ser una mejor opción para minimizar la adición de sales disueltas en el agua tratada.

### **Caracterización física la planta de tratamiento de agua potable El Milagro.**

#### **- Descripción general**

La planta, ubicada en Huambocancha Baja, procesa aguas de los ríos Porcón y Grande, con una capacidad nominal original de 140 L/s (desde 1980), algunos informes señalan que hoy se manejan hasta 220 L/s hasta 300 L/s.

El sistema incluye las etapas estándar: captación, pretratamiento, coagulación-floculación, sedimentación, filtración, desinfección, tratamiento de lodos, almacenamiento y distribución, con automatización parcial.

### 1. Captación y pretratamiento

Fuentes: ríos Porcón y Grande. El agua se recoge en manantiales lateral (acuífero libre) y de fondo (acuífero confinado), conduciéndose a la cámara de reunión

Rejas y cribado: se usan rejillas inclinadas (30–80°) para retener ramas y sólidos mayores ( $\geq 10$  mm)

Desarenador: elimina arenas mediante decantación; su limpieza se realiza mensualmente o según episodios de lluvia

Operación y mantenimiento: El operador supervisa caudal con canal Parshall, monitorea turbidez y efectivo purgado y engrase de válvulas (mantenimiento diario, mensual y anual).

### 2. Dosificación y mezcla rápida

Químicos: sulfato de aluminio (coagulante), cal (ajuste de pH) y polímero aniónico

Equipo: mezcla hidráulica tipo rampa, con parámetros controlados de gradiente

Operación y mantenimiento: dosis definidas por jar-test; revisión diaria de líneas, purga mensual, y mantenimiento semestral de estructura.

### 3. Coagulación - Floculación

Estructura: floculador hidráulico con pantallas y flujo vertical (en el clásico), tiempo de 15–27 min en módulos convencionales.

Función: promueve la unión de partículas coaguladas formando flóculos.

Operación y mantenimiento: control de gradiente y pérdidas de carga; inspección de cortocircuitos; mantenimiento semestral y limpieza según programa.

#### 4. Sedimentación

Equipos convencionales: dos tanques rectangulares, tasa superficial  $23 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ , retención de 3 h.

Operación y mantenimiento: regular lavado bimestral, control de salida de flóculos, mantenimiento semestral de compuertas, canaletas y limpieza hidráulica.

#### 5. Filtración

Unidades: cuatro filtros rápidos con lecho mixto de antracita y arena soportado en grava; área  $\sim 14 \text{ m}^2$  cada uno, carga  $4.25 \text{ m/h}$ ; procesan  $220 \text{ L/s}$

Operación y mantenimiento: medición pérdida de carga; retrolavado automático por turbidez o tiempo; semanales para limpieza de falso fondo; bimestrales para pintura (sulfato de cobre/cal); semestrales para engrase y ajustes.

#### 6. Desinfección

Sistema: dosificación de cloro gaseoso ( $0.9\text{--}1.5 \text{ mg/L}$ ), a la salida de filtros; se mantiene cloro residual en red.

Operación y mantenimiento: carga y cambio seguro de cilindros; supervisión de dosificación, fugas, demandas locales; limpieza y puesta en marcha del sistema

## 7. Tratamiento de lodos

Se recolectan lodos finos y gruesos en cámaras húmedas de la planta; luego se envían a lechos de secado. Cuenta con dos tanques de 30 m<sup>3</sup> para pretratamiento antes de secado, evitando vertido directo a quebradas.

## 8. Almacenamiento y distribución

El agua tratada se almacena en cisternas o tanques de reserva; se ejecuta lavado periódico de cisternas.

Desde allí se distribuye mediante redes primarias y secundarias hacia los usuarios en Cajamarca, con continuidad de 22 h/día (antes 15 h), beneficiando a 29 000 familias y el 60 % de la población.

## 9. Automatización y control

El sistema dispone de automatización parcial: caudal (canal Parshall), nivel de tanques, dosificación química, operación automática de retrolavado.

Hay esfuerzos para mejorar control de retrolavados mediante sensores de turbidez y caudal y controladores lógicos programables de media tensión.

## Conclusión

La planta El Milagro opera bajo un enfoque integral de barreras múltiples: captación → pretratamiento → coagulación-floculación → sedimentación → filtración → desinfección → distribución. Los procesos están bien diseñados hidráulicamente, con parámetros medidos y controlados, y con una operación rigurosa de mantenimiento preventivo y correctivo.

El resultado, el agua potable segura para una gran parte de la población de Cajamarca, con continuidad horaria extendida, calidad compatible con normas sanitarias, y un sistema sostenible desde el punto de vista ambiental y operativo.

**Elaboración de un análisis simplificado de costos para evaluar con cuál de los dos coagulantes es más económico.**

Con el fin de determinar cuál de los dos coagulantes utilizados en el proceso de coagulación-floculación resulta más rentable económicamente, se elaboró un análisis simplificado de costos unitarios basado en el precio por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de agua tratada. Para ello, se utilizaron los siguientes datos:

1. Datos Iniciales

Caudal de la planta: 300 litros por segundo (L/s)

Costo del Policloruro de Aluminio (PAC): 11.06 soles por litro

Costo del Sulfato de Aluminio (SA): 1.97 soles por litro

Dosis óptima de PAC: 9.28 mg/L

Dosis óptima de SA: 28.57 mg/L

2. Cálculo del consumo de coagulante por metro cúbico

La dosis se expresa en mg/L, equivalente a gramos por metro cúbico (1 mg/L = 1 g/m<sup>3</sup>). Entonces:

$$\text{PAC: } 9.28 \text{ mg/L} = 9.28 \text{ g/m}^3 = 0.00928 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{SA: } 28.57 \text{ mg/L} = 28.57 \text{ g/m}^3 = 0.02857 \text{ kg/m}^3$$

Se convierte a litros usando la densidad promedio del producto comercial:

- Para el PAC, se considera una densidad aproximada de 1.22 kg/L, por lo tanto:

$$\text{Volumen PAC (L/m}^3\text{)} = \frac{0.00928 \text{ kg/m}^3}{1.22 \text{ kg/L}} = 0.00761 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Costo PAC (Soles/ m}^3\text{)} = 0.00761 \text{ L/m}^3 \times 11.06 \text{ Soles/L} = 0.0842 \text{ Soles/ m}^3$$

- Para el SA, se considera una densidad promedio de 1.10 kg/L, por lo tanto:

$$\text{Volumen SA (L/m}^3\text{)} = \frac{0.02857 \text{ kg/m}^3}{1.10 \text{ kg/L}} = 0.02597 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Costo SA (Soles/m}^3\text{)} = 0.02597 \text{ L/m}^3 \times 1.97 \text{ Soles/L} = 0.0511 \text{ Soles/ m}^3$$

### 3. Conversión del caudal diario

$$300 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * 86400 \frac{\text{s}}{\text{día}} = 25920 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

### 4. Cálculo del costo diario de operación

Costo diario de operación con PAC:

$$25\,920 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.0842 \frac{\text{soles}}{\text{m}^3} = 2\,183.06 \frac{\text{soles}}{\text{día}}$$

Costo diario de operación con SA:

$$25\,920 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.0511 \frac{\text{soles}}{\text{m}^3} = 1\,325.59 \frac{\text{soles}}{\text{día}}$$

### Conclusión:

El policloruro de aluminio (PAC) requiere una dosis significativamente menor, su costo por litro es considerablemente más alto, lo que eleva el costo final por metro cúbico tratado. En contraste, el sulfato de aluminio (SA) tiene una dosis mayor, pero su precio por litro es mucho menor, resultando en un menor costo unitario de tratamiento. Por tanto, desde una perspectiva de costo por metro cúbico de agua tratada, el sulfato de aluminio representa la opción más económica para la operación diaria de la Planta El Milagro de la EPS SEDACAJ S.A.

Aunque el Policloruro de Aluminio presenta un costo unitario más elevado, muchas plantas de tratamiento lo prefieren debido a sus importantes ventajas operativas, como su mayor eficiencia en la remoción de turbidez lo que mejora significativamente la calidad del agua tratada, su menor impacto sobre el pH reduciendo la necesidad de ajustes químicos adicionales y la generación de un menor volumen de lodos, lo que facilita su manejo y disminuye los costos asociados a su disposición final.

## 4.2. Análisis estadístico

### PRUEBA DE NORMALIDAD: Shapiro-Wilk

**Tabla 46**

*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk*

ID	PARAMETRO	ESTADISTICO	VALOR p
1	CONDUCTIVIDAD_PA	0.8516149520874023	1.7445820787997945e-08
2	TURBIEDAD_PA	0.2652050852775574	6.527751380159624e-20
3	TEMPERATURA_PA	0.9662937521934509	0.01285179890692234

4	COLOR_PA	0.4562118649482727	2.3724664933653906e-17
5	PH_PA	0.9824008345603943	0.21456247568130493
6	CONDUCTIVIDAD_SA	0.8928471803665161	8.193617304641521e-07
7	TURBIEDAD_SA	0.3150755763053894	2.6893014316927885e-19
8	TEMPERATURA_SA	0.9765855073928833	0.07731857150793076
9	COLOR_SA	0.49054551124572754	8.031093258554895e-17
10	PH_SA	0.944330632686615	0.0004151521425228566

Se evaluó la normalidad de cada variable mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Esta prueba determina si los datos siguen una distribución normal.

Dado que los resultados de la prueba de normalidad indicaron distribuciones no normales, la elección de la prueba Mann-Whitney U es la más adecuada para comparar los efectos de Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio en la planta de tratamiento de agua potable "El Milagro". Esta decisión garantiza la validez estadística de los resultados obtenidos.

### Prueba de Mann-Whitney U

**Tabla 47**

*Prueba de Mann-Whitney U*

ID	PARÁMETRO	ESTADISTICO U	VALOR p
1	CONDUCTIVIDAD	3575.5	0.0020167378091323043
2	TURBIEDAD	1796.5	3.789359295825185e-14
3	TEMPERATURA	5683.0	0.02639031226909109
4	COLOR	2075.5	6.462673078156817e-12

5	PH	7958.0	1.906131370385738e-15
---	----	--------	-----------------------

Se aplicó la prueba de Mann-Whitney U, que es una prueba no paramétrica utilizada para comparar dos grupos independientes cuando los datos no siguen una distribución normal. En este caso, se compararon las mediciones entre Policloruro de Aluminio (PA) y Sulfato de Aluminio (SA) en las siguientes variables: Conductividad, Turbidez, Temperatura, Color y pH.

### Interpretación de los resultados

- Si el valor  $p < 0.05$ , hay diferencias significativas entre los tratamientos.
- Si el valor  $p > 0.05$ , no hay diferencias significativas y los tratamientos podrían tener efectos similares.

### Resultados clave:

1. Conductividad  $\rightarrow p=0.002$   $p = 0.002$   $p=0.002 \rightarrow$  Diferencia significativa entre ambos tratamientos.
2. Turbidez  $\rightarrow p=3.78 \times 10^{-14}$   $p = 3.78 \times 10^{-14}$   $p=3.78 \times 10^{-14} \rightarrow$  Diferencia altamente significativa.
3. Color  $\rightarrow p=6.46 \times 10^{-12}$   $p = 6.46 \times 10^{-12}$   $p=6.46 \times 10^{-12} \rightarrow$  Diferencia altamente significativa.
4. pH  $\rightarrow p=1.90 \times 10^{-15}$   $p = 1.90 \times 10^{-15}$   $p=1.90 \times 10^{-15} \rightarrow$  Diferencia altamente significativa.

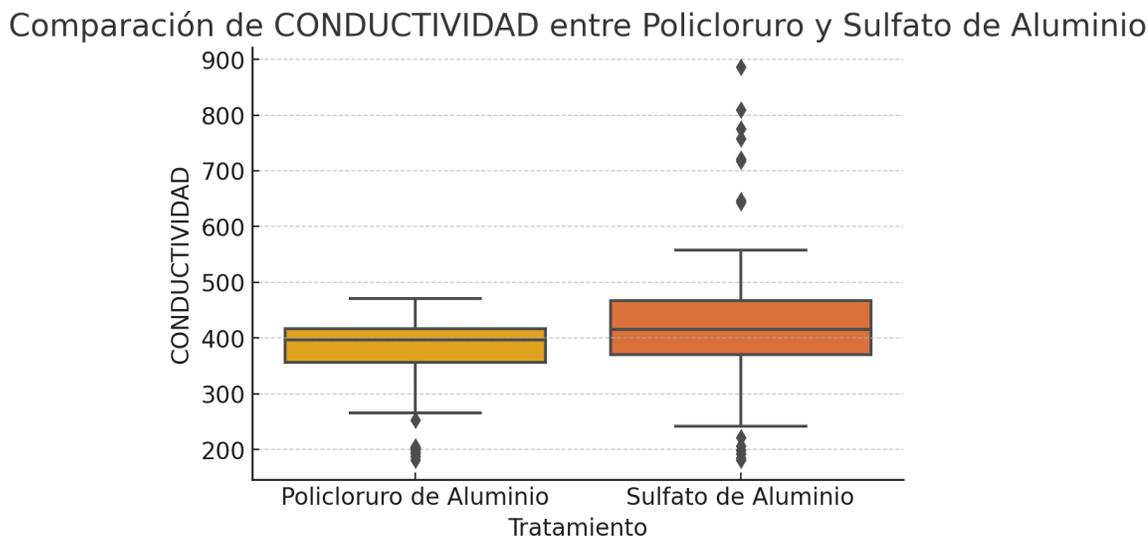
### Conclusión:

Los resultados sugieren que existen diferencias significativas entre los tratamientos con Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio en todas las variables analizadas. Esto indica que

uno de los tratamientos podría ser más eficiente en la reducción de turbidez, color y otros parámetros clave.

### Figura 6

*Comparación de conductividad entre Policloruro y Sulfato de aluminio*

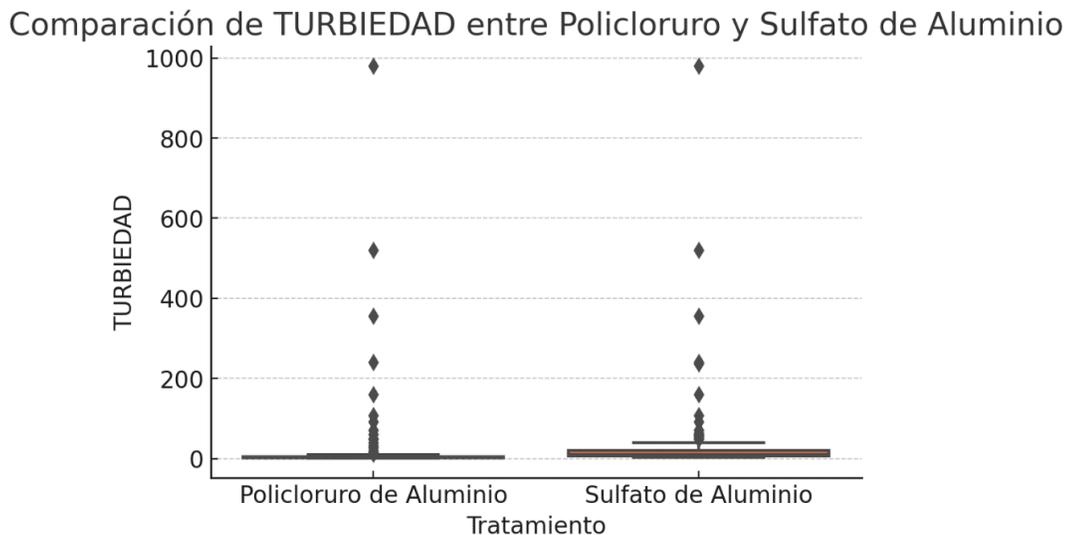


La comparación de conductividad mostró que el Policloruro de Aluminio (PAC) genera menor incremento de sales disueltas en el agua tratada, con valores más bajos y estables frente al Sulfato de Aluminio (SA), que presentó mayor dispersión y varios valores atípicos. Esto se debe a que el SA libera más iones sulfato, lo que aumenta la conductividad eléctrica del agua, afectando potencialmente su calidad.

El PAC, al tener una estructura polimérica más controlada, altera menos los parámetros fisicoquímicos, lo que lo hace más recomendable en zonas donde la corrosividad o el contenido salino del agua es una preocupación. Sin embargo, su mayor eficiencia y estabilidad deben evaluarse frente a su alto costo operativo, para una elección adecuada según los objetivos técnicos y económicos de la planta.

### Figura 7

*Comparación de turbiedad entre Policloruro y Sulfato de aluminio*



El gráfico muestra que ambos coagulantes —Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio (SA)— presentan una alta eficiencia en la remoción de turbiedad, concentrando la mayoría de los valores tratados en un rango cercano al límite máximo permisible (5 NTU). Sin embargo, el PAC refleja una mayor homogeneidad y menor variabilidad en los resultados, con una mediana más baja y menos dispersión en comparación con el SA.

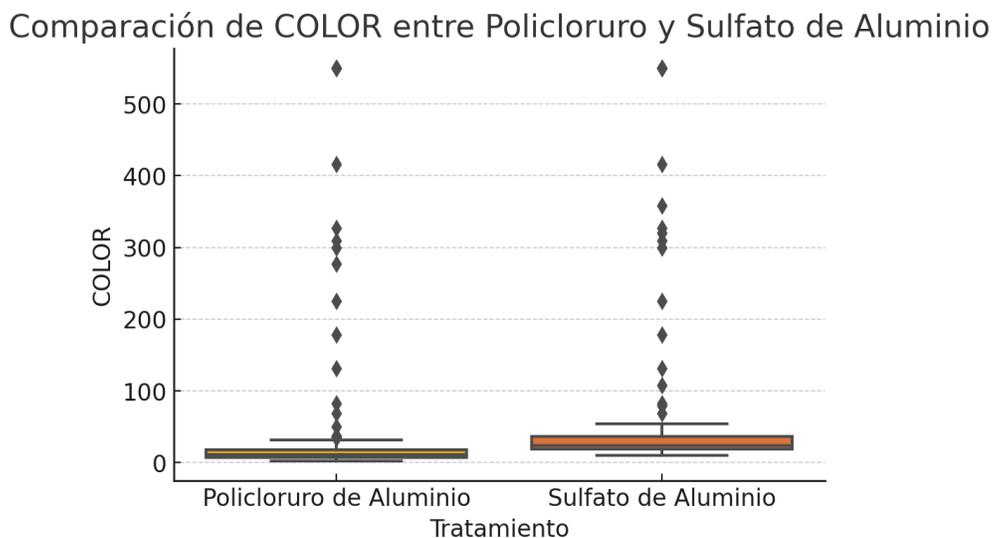
Aunque ambos tratamientos generaron algunos valores atípicos elevados, estos representan casos puntuales posiblemente asociados a muestras con cargas contaminantes iniciales extremas. El PAC logró una remoción más eficiente y estable, minimizando la turbiedad residual y mostrando su ventaja operativa en condiciones variables de calidad del agua cruda.

Este comportamiento sugiere que el PAC es más confiable para mantener la turbiedad bajo control, cumpliendo consistentemente con los estándares de potabilidad, especialmente en

situaciones donde la calidad del agua de entrada es fluctuante o presenta desafíos técnicos importantes.

### Figura 8

*Comparación de color entre Policloruro y Sulfato de aluminio*



El gráfico muestra la comparación de los valores de color residual en el agua tratada mediante el uso de Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio (SA). A través del diagrama de cajas (boxplot), se puede observar que ambos coagulantes presentan una tendencia similar en la distribución de resultados, sin embargo, se evidencian algunas diferencias clave.

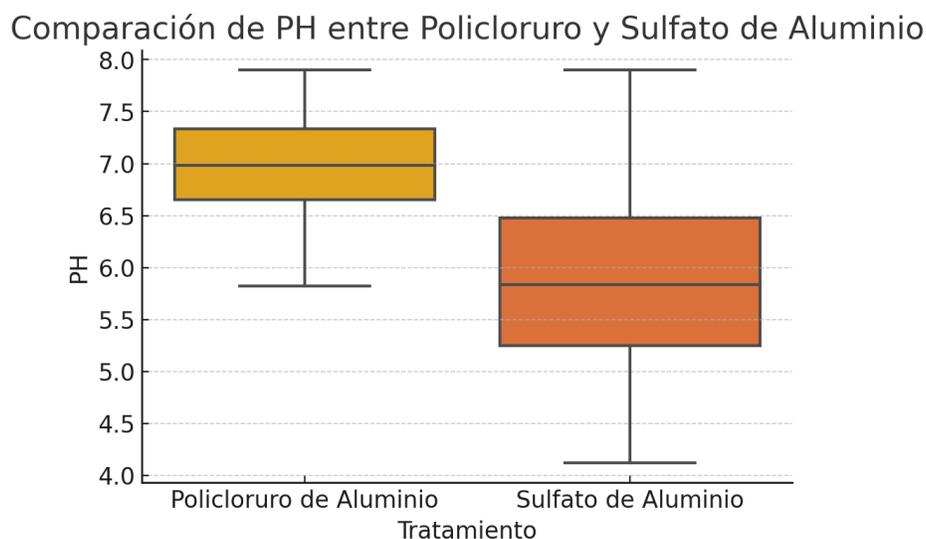
En primer lugar, se nota que el tratamiento con Policloruro de Aluminio presenta una mediana de color ligeramente inferior en comparación con el Sulfato de Aluminio, lo que sugiere una mayor eficiencia del PAC en la remoción de color en la mayoría de las muestras. Además, el rango intercuartílico (IQR) del PAC es más reducido, lo que indica una mayor consistencia y menor variabilidad en sus resultados. Esto es un aspecto importante, ya que un tratamiento más predecible permite una mejor operación del sistema de tratamiento.

Por otro lado, si bien ambos tratamientos presentan valores atípicos (outliers), se observa una mayor dispersión de valores extremos en el tratamiento con Sulfato de Aluminio, lo cual podría estar asociado a una menor estabilidad en su desempeño o a condiciones operativas menos favorables durante ciertos momentos del tratamiento.

Estos resultados respaldan los estudios previos que destacan al Policloruro de Aluminio como un coagulante más eficiente y estable para la remoción de parámetros como el color, especialmente en aguas con características variables. Además, este comportamiento podría estar relacionado con la mayor densidad de carga del PAC y su capacidad para formar flóculos más compactos y de sedimentación más rápida.

### Figura 9

*Comparación de PH entre Policloruro y Sulfato de aluminio*



El gráfico comparativo revela diferencias significativas en el impacto que ambos coagulantes ejercen sobre el pH del agua tratada. El Policloruro de Aluminio (PAC) mantiene el pH dentro de un rango más estable y adecuado para el consumo humano, oscilando entre 6.2 y 7.6, lo cual se

encuentra íntegramente dentro del rango permitido por el D.S. N.º 031-2010-SA (6.5–8.5), salvo valores mínimos puntuales.

En contraste, el Sulfato de Aluminio (SA) genera una mayor variabilidad en el pH, con valores que descienden hasta aproximadamente 4.1, lo cual está muy por debajo del rango normativo, y puede acarrear problemas en la potabilidad y en la integridad de las redes de distribución, al promover condiciones corrosivas. Aunque algunos valores máximos de pH con SA alcanzan niveles aceptables, su amplio rango intercuartílico y presencia de valores inferiores al límite mínimo evidencian una falta de estabilidad en el control del pH.

Este comportamiento reafirma que el PAC, además de ser eficiente en remoción de turbiedad y color, minimiza la necesidad de ajustes químicos posteriores, como la adición de cal para neutralizar el pH, lo que representa una ventaja técnica y económica en la operación de plantas de tratamiento.

### **Descripción:**

Los boxplots permiten visualizar las diferencias en la distribución de cada variable entre los tratamientos con Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio.

### **Elementos clave en cada gráfico:**

- Línea dentro de la caja: Representa la mediana de los datos.
- Extremos de la caja: Representan el rango intercuartil (IQR) (Q1 a Q3).
- Bigotes: Representan la distribución de los datos sin incluir valores atípicos.
- Puntos fuera de los bigotes: Posibles outliers o valores extremos.
- que los coagulantes podrían afectar de manera diferente la acidez del agua tratada.

**Conclusión:**

Estos gráficos respaldan los resultados de la prueba de Mann-Whitney U, mostrando que existen diferencias significativas entre los tratamientos. La visualización facilita la interpretación de qué tratamiento podría ser más eficiente para cada parámetro evaluado en la planta de tratamiento de agua potable "El Milagro".

**4.3. Discusión de resultados**

Los ensayos de jarra realizados en la planta de tratamiento de agua potable El Milagro de la EPS SEDACAJ S.A. permitieron evaluar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación utilizando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio. En términos generales, los resultados indican que ambos coagulantes fueron efectivos en la reducción de turbiedad y color, aunque con diferencias significativas en su desempeño y cumplimiento de los estándares establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA.

El policloruro de aluminio (PAC) demostró una mayor eficiencia en la remoción de turbiedad y color con dosis más bajas en comparación con el sulfato de aluminio. En todas las pruebas realizadas con PAC, la turbiedad final se mantuvo por debajo del límite máximo permisible de 5 NTU, con valores entre 0.75 NTU y 4.87 NTU. Asimismo, el color final osciló entre 3 y 15 UCV, cumpliendo con los límites normativos. En cuanto al pH, los valores finales se mantuvieron dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), lo que indica que su uso no genera la necesidad de ajustes adicionales en el pH del agua tratada. La conductividad experimentó incrementos leves, lo que sugiere una menor alteración en la composición iónica del agua.

Estos resultados coinciden con estudios previos, con Medina (2021), que evidencian una alta eficiencia del PAC en la reducción de turbiedad con menor alteración en el pH. Por otro lado, el sulfato de aluminio requirió dosis más elevadas para lograr una reducción efectiva de la turbiedad y el color. Si bien la turbiedad final se mantuvo en la mayoría de los casos dentro del límite permisible, hubo pruebas en las que los valores finales superaron los 5 NTU. Asimismo, el color final en varios ensayos no cumplió con el límite de 15 UCV, con valores que oscilaron entre 14 y 38 UCV. Una desventaja importante observada con el uso de sulfato de aluminio fue la disminución del pH a valores fuera del rango normativo, llegando a mínimos de 4.12. Esto implica la necesidad de ajustes posteriores con sustancias alcalinas para estabilizar el pH del agua tratada. Además, la conductividad mostró incrementos más significativos en comparación con el PAC, lo que sugiere un mayor aporte de sales al medio. Estos hallazgos son consistentes con la investigación de Alvarado et al. (2014), donde se reporta que el uso exclusivo de sulfato de aluminio genera variaciones en el pH y conductividad que pueden afectar la eficiencia del tratamiento.

En términos de estabilidad del proceso y cumplimiento normativo, el policloruro de aluminio se presenta como una opción más efectiva y viable para la planta de tratamiento El Milagro, ya que permite obtener mejores resultados en la clarificación del agua con menores ajustes en parámetros químicos. Si bien el sulfato de aluminio sigue siendo una alternativa viable, su uso requiere un control más estricto del pH y una posible combinación con otros agentes coagulantes o alcalinizantes para optimizar su desempeño. A la luz de estos resultados, se recomienda considerar la implementación de estrategias mixtas de coagulación, combinando PAC y  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , como lo sugieren estudios previos, para maximizar la eficiencia y minimizar impactos no deseados en la calidad del agua tratada.

El análisis comparativo de la eficiencia del policloruro de aluminio (PAC) y el sulfato de aluminio (SAL) en la remoción de turbiedad y color en agua potable confirma que ambos coagulantes son efectivos, pero con diferencias significativas en su desempeño. En las pruebas realizadas, el PAC logró porcentajes de remoción de turbiedad entre 84.14% y 99.57%, mientras que el SAL obtuvo valores entre 65.16% y 99.48%. En cuanto a la reducción del color, el PAC presentó eficiencias entre 79.71% y 99.03%, mientras que el SAL logró valores entre 76.81% y 97.64%.

Los resultados obtenidos coinciden con diversas investigaciones previas. El estudio de Medina (2021) demuestra que el PAC es más eficiente en la reducción de turbiedad con dosis menores, lo que también se refleja en los ensayos realizados en la presente investigación. Asimismo, Alvarado et al. (2014) concluye que el uso combinado de estos coagulantes puede mejorar la eficiencia del proceso, lo cual podría ser una estrategia a considerar para optimizar el tratamiento del agua en la planta de El Milagro.

Por otro lado, el estudio de Sierra y Guatame (2016) destaca que el PAC genera menores variaciones en el pH y la conductividad, lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación, donde el pH final con PAC se mantuvo dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que con SAL disminuyó a valores por debajo del límite permitido, generando la necesidad de una corrección posterior con alcalinizantes. Finalmente, Galvis y Marín (2020) reafirman que el PAC es más eficiente en la reducción de turbiedad y color con menores dosis y menor impacto en la calidad química del agua.

En general, los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que el policloruro de aluminio es una alternativa más eficiente y estable para el tratamiento del agua potable en la planta de El Milagro, permitiendo la remoción de turbiedad y color dentro de los límites normativos con

menores dosis y sin alteraciones significativas en el pH. Sin embargo, el sulfato de aluminio sigue siendo una opción válida, especialmente en combinación con PAC, estrategia que podría ser evaluada en futuras investigaciones para mejorar la eficiencia del proceso de potabilización del agua.

El análisis comparativo de los resultados obtenidos con los coagulantes policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio (SAL) en relación con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA confirma que el PAC presenta una mayor eficiencia en la remoción de turbiedad y color, además de mantener los valores de pH dentro del rango normativo.

Los resultados de turbiedad muestran que todas las pruebas con PAC lograron mantenerse dentro del LMP de 5 NTU, con valores entre 1.39 y 4.87 NTU, mientras que el SAL presentó valores que en algunos casos superaron el límite permitido, alcanzando hasta 5.68 NTU. Estos hallazgos coinciden con Noriega (2022), donde se evidencia que el PAC requiere dosis menores para alcanzar turbiedades dentro del límite normativo, lo que optimiza su uso en procesos de potabilización.

En la reducción del color, el PAC también demuestra mejores resultados, con valores finales entre 3 y 16 UCV, mientras que el SAL obtuvo valores entre 10 y 22 UCV, superando el LMP en algunas pruebas. Estos datos refuerzan los hallazgos de Dorado y Mosquera (2021), donde se concluye que el PAC proporciona una mayor estabilidad en la remoción de color con menor impacto en otros parámetros del agua tratada.

En cuanto al pH, el tratamiento con PAC permitió mantener valores entre 6.64 y 7.48, dentro del rango normativo (6.5 - 8.5), mientras que el SAL redujo significativamente el pH a valores entre 4.12 y 5.49, requiriendo una posterior corrección alcalina. Esto concuerda con la investigación de Sierra y Guatame (2016), donde se evidencia que el PAC no altera de manera significativa el pH del agua tratada.

Respecto a la conductividad, ambos coagulantes generan valores muy por debajo del LMP de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; sin embargo, el SAL presenta valores más elevados, alcanzando hasta 809  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en comparación con el PAC, que varía entre 193.2 y 442  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Galvis y Marín (2020) reafirman que el PAC genera menor aporte de sales al agua tratada, reduciendo la conductividad y favoreciendo su aplicación en procesos de potabilización.

En general, los resultados obtenidos confirman que el PAC es una opción más eficiente y estable para el tratamiento de agua potable, logrando una mayor remoción de turbiedad y color, sin afectar de manera significativa el pH y la conductividad del agua tratada. Aunque el sulfato de aluminio sigue siendo una alternativa viable, su uso requiere ajustes adicionales para cumplir con los parámetros normativos, lo que podría aumentar los costos operativos del tratamiento.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### - Conclusiones

A partir del desarrollo de la presente investigación, se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Se evaluó la eficiencia del proceso de coagulación–floculación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro” de la EPS SEDACAJ S.A., utilizando como coagulantes el sulfato de aluminio (SA) y el policloruro de aluminio (PAC). Los resultados demostraron que ambos coagulantes fueron eficaces en la remoción de turbiedad y color; sin embargo, el PAC presentó un desempeño superior, alcanzando una eficiencia promedio de remoción de turbiedad del 94.19 % y de color del 95.62 %, frente al SA que obtuvo 91.00 % y 93.40 %, respectivamente. Además, el PAC mostró un menor impacto sobre la calidad físico-química del agua tratada, al afectar en menor medida el pH y la conductividad, lo que reduce la necesidad de correcciones posteriores. Por tanto, se concluye que el PAC es el coagulante más eficiente y estable bajo las condiciones evaluadas.
2. Mediante ensayos de jarras se determinó la dosis óptima de ambos coagulantes, concluyéndose que el PAC requiere una dosis significativamente menor (9.28 mg/L) para lograr una remoción eficiente de turbiedad y color, en comparación con el SA (28.57 mg/L), lo cual optimiza el proceso y disminuye la generación de lodos.
3. Se identificaron y cuantificaron los parámetros fisicoquímicos del agua tratada, permitiendo comparar la eficacia de ambos coagulantes. El PAC logró remociones de turbiedad entre 84.14 % y 99.57 %, y de color entre 79.71 % y 99.03 %, mientras que el SA presentó valores de remoción de turbiedad entre 65.16 % y 99.48 %, y de color entre 76.81 % y 97.64 %. Estos resultados refuerzan la superioridad del PAC para tratar aguas con alta carga contaminante inicial.

4. La comparación de los resultados experimentales con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el D.S. N.º 031-2010-SA evidenció que el PAC permitió cumplir de forma más consistente con la normativa vigente. Logró valores finales de turbiedad por debajo de 5 NTU en todas las pruebas, mantuvo el pH dentro del rango normado (6.5–8.5), y mostró valores de color y conductividad aceptables. En contraste, el SA superó los límites permitidos de pH en todas las pruebas y excedió los valores de color y turbiedad en varios casos, lo que compromete su desempeño sin ajustes adicionales.
5. La caracterización física de la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Milagro evidencia un sistema robusto, funcional y progresivamente modernizado, que permite procesar eficientemente caudales superiores a su capacidad nominal original. Cada etapa del tratamiento —desde la captación hasta la distribución— está estructurada con criterios técnicos adecuados, integrando mecanismos hidráulicos convencionales, control de calidad del agua, automatización parcial y una operación sistemática de mantenimiento. Este enfoque asegura el abastecimiento de agua potable continua, segura y conforme con los estándares de salubridad para gran parte de la población de Cajamarca, consolidando a la planta como una infraestructura clave para la sostenibilidad hídrica regional.
6. El análisis económico reveló que, aunque el PAC presenta una mayor eficiencia técnica, su costo por litro (S/ 11.06) es considerablemente superior al del SA (S/ 1.97), lo que se traduce en un gasto operativo diario más elevado (S/ 2,183.06 frente a S/ 1,326.59). En consecuencia, si bien el PAC ofrece ventajas técnicas, el SA representa una alternativa más viable económicamente para la operación diaria, por lo que su elección dependerá de las prioridades operativas y presupuestarias de la entidad gestora.

## - **Recomendaciones**

1. Se recomienda la instalación de una planta piloto de tratamiento de agua potable, que permita replicar en condiciones controladas los distintos procesos unitarios (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección). Esto facilitará la validación de parámetros operativos, como dosis óptimas de coagulante y condiciones de mezcla, antes de su aplicación en la planta real, reduciendo riesgos operacionales.
2. Considerar la Dosis de Cal en el Proceso Convencional, durante la operación normal de la PTAP “El Milagro”, se utiliza cal (hidróxido de calcio) como agente alcalinizante para corregir el pH del agua cruda antes de la coagulación. Por ello, se recomienda incluir este insumo en futuras simulaciones, ya que su omisión podría alterar la eficiencia real del proceso y la formación de flóculos.
3. Diferenciar el Uso de Coagulantes por Temporada Hidrológica, se recomienda establecer de manera clara y técnica el uso estacional de coagulantes:
  - Sulfato de Aluminio (SAL) durante la época de estiaje, cuando la turbiedad del agua es baja.
  - Policloruro de Aluminio (PAC) en época de lluvias, cuando se registran altos niveles de turbiedad y materia orgánica. Esta estrategia debe estar respaldada por evaluaciones de jar test periódicos para determinar dosis óptimas.
4. Reducir los Niveles de Sulfatos en el Agua Cruda

Se identificó una concentración elevada de sulfatos en el agua cruda proveniente de la cámara de reunión. Se recomienda realizar una caracterización fisicoquímica más profunda y considerar el uso de tecnologías complementarias (como filtración por membranas o resinas aniónicas) si los

niveles superan los límites establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N.º 031-2010-SA).

5. Determinar y Controlar el Aluminio Residual, es fundamental cuantificar el aluminio residual luego del proceso de coagulación-floculación, ya que concentraciones elevadas pueden representar riesgos para la salud y provocar incrustaciones en redes. Se sugiere incluir este análisis en futuras investigaciones para evaluar la eficiencia real de los coagulantes y la necesidad de ajustar el proceso.
6. Ampliar el Monitoreo de Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos  
Para un enfoque integral, se recomienda que futuras investigaciones incluyan parámetros como coliformes totales y fecales, alcalinidad, demanda química de oxígeno (DQO) y carbono orgánico total (COT). Estos datos permitirán evaluar mejor el comportamiento del agua ante diversos tratamientos y riesgos sanitarios.
7. Evaluar el impacto de la calidad del agua fuente en la vida útil de los equipos, se recomienda estudiar el impacto de las características del agua cruda (especialmente turbiedad y sólidos suspendidos) sobre los equipos de la planta, como filtros, floculadores mecánicos y válvulas, ya que el desgaste prematuro puede representar costos operacionales significativos.
8. Promover la Capacitación del Personal Técnico en Nuevas Tecnologías de Tratamiento, es aconsejable que SEDACAJ implemente programas de formación continua para operadores y técnicos de planta, con énfasis en nuevas tecnologías de tratamiento, gestión de productos químicos, análisis de datos y protocolos de seguridad del agua.

## CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, C., Perez, H., & Saba, C. (2014). Evaluación del uso del Policloruro de Aluminio en conjunto con Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación de una planta de potabilización de agua en el estado Carabobo. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/IngenieriaYSociedad/a10n1/art03.pdf>
- American Water Works Association. (2010). Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water (Sixth Edición).
- Andía, Y. (2000). Documento preparado por: Ing. Yolanda Andía Cárdenas. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Arboleda, J. (1992). Teoría y práctica de la Purificación del agua. Teoría de la Coagulación del Agua. Acodal. <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/teoria.pdf>
- Caseros, D. (2008). Abastecimientos y Saneamientos Urbanos. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/componente45469.pdf>
- Claros, J. (2015). Efectos del polihidroxiclorigenio de aluminio, velocidad de agitación y pH en la turbidez del agua del río Shullcas -Huancayo. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1197/3.%20TESIS%20DOCTORADO%202015%20-%20Jaime%20Claros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CONAGUA. (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento—Integración de un Organismo Operador. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro24.pdf>
- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). MWH's Water Treatment: Principles and Design (Third Edition). Wiley-Online Library.

- DIGESA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Dorado, A. L., & Mosquera, N. M. (2021). Evaluación de alternativas de tratamiento químico para el proceso de potabilización en la nueva planta de tratamiento Asocruces distrito 3 del municipio de Timbío – Cauca. <http://repositorio.uniautonoma.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/554>
- Galvis, J. P., & Marín, M. F. (2020). Comparación de la eficiencia de remoción del coagulante sulfato de aluminio frente al coagulante policloruro de aluminio (PAC) para tratamiento de agua potable. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/24256/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gil, J., & López, W. (2009). Estudio de factibilidad de implementación del Policloruro de Aluminio como sustituto del Sulfato de Aluminio tipo B, en la planta de tratamiento “El Tablazo” de Popayán.
- INEI. (2017). Nota CENSOS 2017: DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-194-2018-inei.pdf>
- Lozano, W., & Lozano, G. (2015). Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Universidad Piloto de Colombia.
- Medina, T. (2021). Evaluación de los coagulantes sulfato de aluminio tipo a y policloruro de aluminio para reducir la turbiedad del agua de procesos para una planta piloto de flotación. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/a9022377-04c4-48e8-aab0-5128e03e31c6>

- OMS. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Oré, L. (2015). Evaluación de la eficiencia del floculante de sulfato de aluminio y polifloc (Policloruro de aluminio) empleado en la depuración de aguas con baja turbiedad en la planta de tratamiento de agua potable Quicapata—Ayacucho. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1037>
- Pérez, J. (2017). Evaluación de la sustitución del agente coagulante—Sulfato de aluminio- en el proceso actual de coagulación-floculación de agua potable en la empresa EAF SAS ESP. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6371/1/6112811-2017-2-IQ.pdf>
- Rubio, D., & Saravia, J. (2020). Optimización en la remoción de turbidez mediante prueba de jarras empleando Quitosano a partir de las escamas del *Trachurus Murphyi*. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3191>
- Satterfield, Z. (2009). Jar Testing. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SATTERFIELD%202009.%20Tech%20brief%20-%20Jar%20Testing.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SATTERFIELD%202009.%20Tech%20brief%20-%20Jar%20Testing.pdf)
- Sierra, I., & Guatame, V. (2016). Análisis comparativo del policloruro de aluminio (pac) y sulfato de aluminio líquido (sal) para la optimización del proceso coagulación en la planta de tratamiento de agua potable Francisco Wiesner. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3471>
- Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I.

Vásquez, Y., & Villalobos, M. Y. (2023). Efecto en la remoción de la turbiedad y los sólidos totales suspendidos de la vinaza, empleando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en el proceso de coagulación y floculación. <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/586>

## ANEXOS

### 1. Panel fotográfico

**Figura 10**

*Coagulantes policloruro de aluminio y sulfato de aluminio en una concentración al 1%*



**Figura 11**

*Prueba de jarras con Policloruro de aluminio*



**Figura 12**

*Preparación de coagulantes*

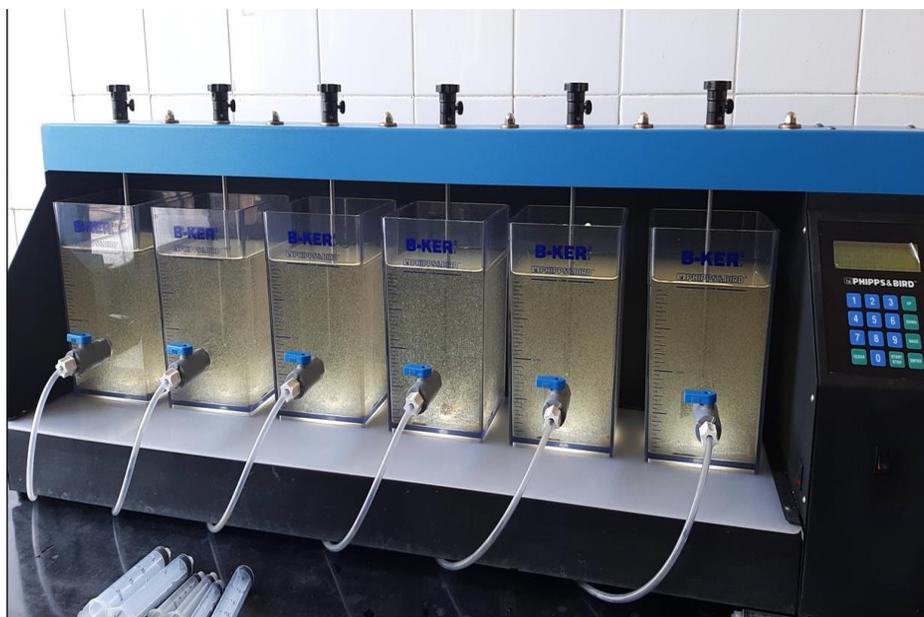
**Figura 13**

*Programación del equipo de prueba de jarras*



**Figura 14**

*Prueba de jarras con policloruro de aluminio*

**Figura 15**

*Prueba de jarras con sulfato de aluminio*



**Figura 16**

*Verificación de la prueba de jarra*

**Figura 17**

*Toma de muestra de las 6 jarras para su análisis*

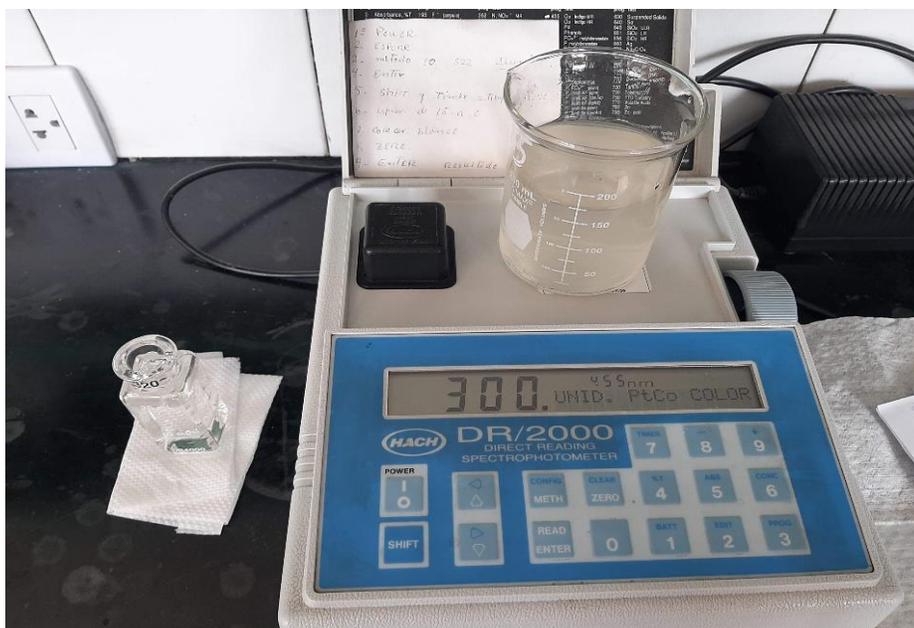


**Figura 18**

*Medición de los parámetros en estudio*

**Figura 19**

*Medición de color en espectrofotómetro*

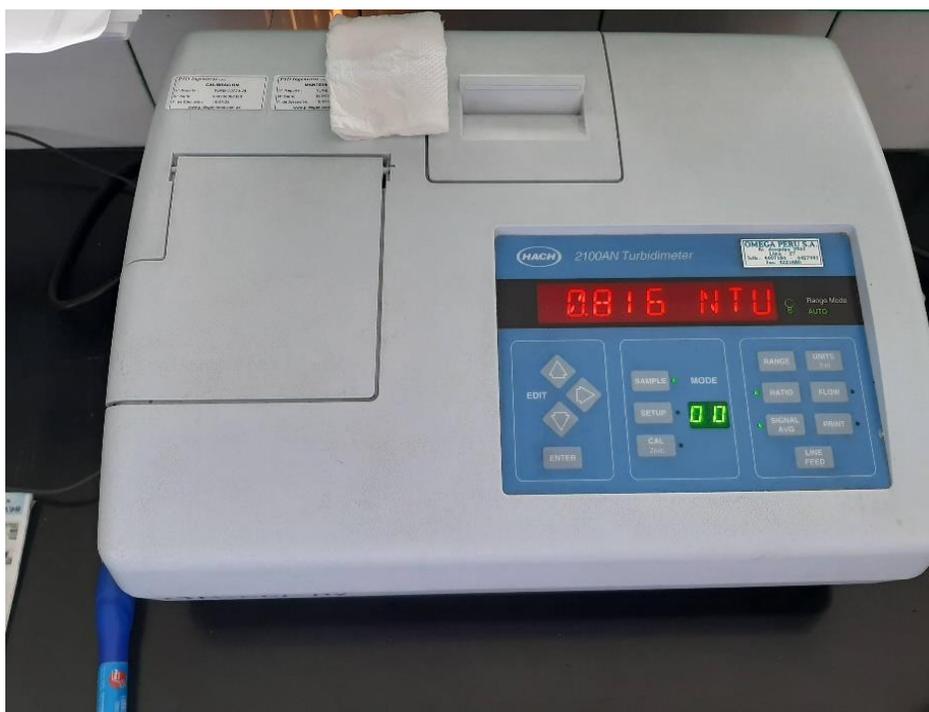


**Figura 20**

*Medición de conductividad y PH*

**Figura 21**

*Medición de turbiedad en turbidímetro*



**Figura 22**

*Pre sedimentador de la PTAP El Milagro*

**Figura 23**

*Cámara de reunión de la PTAP El Milagro*



**Figura 24**

*Unidad de coagulación de la PTAP El Milagro*

**Figura 25**

*Unidad de floculación de la PTAP El Milagro*



**Figura 26**

*Unidad de sedimentación de la PTAP El Milagro*

**Figura 27**

*Unidad de filtración de la PTAP El Milagro*



**Figura 28**

*Sistema de cloración de la PTAP El Milagro*

**Figura 29**

*Casa de química de la PTAP El Milagro*



## **2. Fichas técnicas de los coagulantes**

- Se adjuntan las fichas técnicas de los coagulantes en estudio.

# POLICLORURO DE ALUMINIO 120



## FICHA TÉCNICA

<b>Nombre comercial</b>	PAC Pantera 120
<b>Apariencia</b>	Solución clara o ligeramente oscura, libre de materias extrañas o sedimentos visibles.

### COMPOSICIÓN QUÍMICA

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Mín. 12.0	Q-M-LPAC-01

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Basicidad, %	70.0 - 85.0	Q-M-LPAC-02
pH	3.0 - 4.0	Q-M-LAB-04
Densidad, g/mL	1.16 - 1.20	Q-M-LAB-01
Turbidez, NTU	Máx. 50	Q-M-LPAC-03

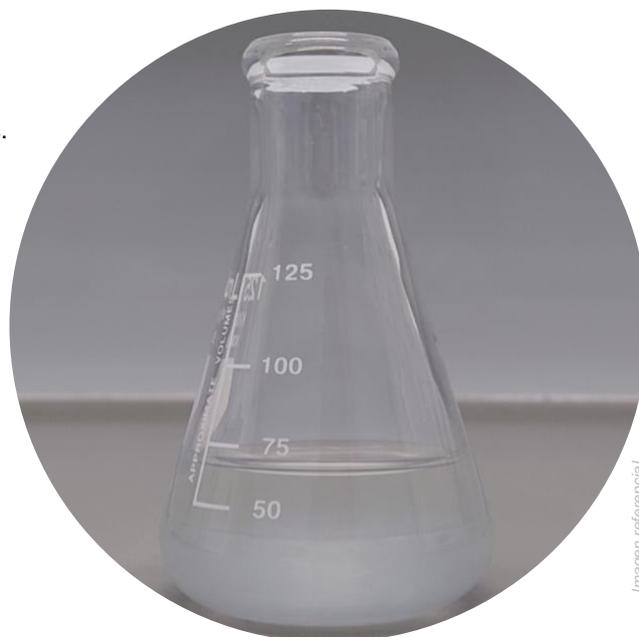


Imagen referencial.

### USOS

- Se emplea como coagulante/floculante en la clarificación del agua y tratamiento de agua residual. Antes de aplicar en planta, se recomienda determinar la dosis óptima en un ensayo de "prueba de jarras" en un laboratorio. Es importante indicar que durante el proceso de coagulación/floculación, no altera considerablemente el pH del agua tratada a diferencia de otros coagulantes inorgánicos.

### PRESENTACIONES

Cilindros de 250 kg  
Bidón de 25 kg  
IBC 1000 kg

### CONDICIONES DE USO Y ALMACENAJE



Mantener en su envase original



Mantener en lugares secos y bajo techo



Proteger del sol



No comer, beber, ni fumar.



Mantener lejos de niños y animales

Aris Industrial S.A. garantiza que al momento de emitir esta hoja técnica el producto cumple con la especificación declarada. Es responsabilidad del comprador determinar que el producto cumple con los requisitos para su uso, incluyendo mediante la realización de pruebas de aplicación, así como de tomar todas las medidas de seguridad razonables.

# ARIS

## SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A PANTERA

SULFATO DE ALUMINIO

FICHA TÉCNICA

<b>Nombre comercial</b>	Sulfato de Aluminio Granulado Tipo A Pantera
<b>Peso molecular</b>	594.14 g/mol.
<b>Formula química</b>	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
<b>Apariencia</b>	Cristales color blanco

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
<b>Aluminio Total Soluble, <math>Al_2O_3</math>, %</b>	Mín. 17.0	Q-M-LSAL-02
<b>Basicidad, <math>Al_2O_3</math>, %</b>	Máx. 0.60	Q-M-LSAL-01
<b>Hierro Total Soluble, <math>Fe_2O_3</math>, %</b>	Máx. 0.05	Q-M-LSAL-04
<b>Insolubles, %</b>	Máx. 0.50	Q-M-LSAL-05
<b>Malla 4 (4.75 mm), % Pasante</b>	100	Q-M-LSAL-03
<b>Malla 6 (3.35 mm), % Pasante</b>	100	Q-M-LSAL-03
<b>Malla 10 (2.00 mm), % Pasante</b>	Mín. 90	Q-M-LSAL-03

Registro Sanitario N° RSDAN7616.

Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 311.095:1999 y la norma internacional ANSI/AWWA B403-93 para productos químicos usados en el tratamiento del agua para consumo humano.

### USOS

- Coagulante principal en el tratamiento de agua para consumo humano para remover los contaminantes coloidales y en la mayoría de los procesos de separación de sólidos.
- En tratamiento de agua para consumo humano, la dosis máxima no debe exceder 180 mg/L (NSF).
- Se emplea en todo proceso de tratamiento de agua para remoción de sólidos en industria, minería, agua para riego, pesquera, etc.

### PRESENTACIONES

Bolsas de 25 kg y 50 kg, Big Bag de 500 kg, 800 kg, 1000 kg y 1250 kg



Certified to NSF/ANSI/CAN 60

Imagen referencial.



# SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A PANTERA

SULFATO DE  
ALUMINIO

FICHA TÉCNICA

## CONDICIONES DE USO Y ALMACENAJE



Almacenar sobre pallets



Mantener en lugares  
secos y bajo techo



Proteger del sol



No comer, beber,  
ni fumar.



Mantener fuera del  
alcance de niños y  
animales

*Aris Industrial S.A. garantiza que al momento de emitir esta hoja técnica el producto cumple con la especificación declarada. Es responsabilidad del comprador determinar que el producto cumple con los requisitos para su uso, incluyendo mediante la realización de pruebas de aplicación, así como de tomar todas las medidas de seguridad razonables.*

Fecha de emisión: 20/04/2025

Versión: 04

### **3. Resultados de laboratorio**

A continuación, se adjuntan los resultados correspondientes a las 14 pruebas efectuadas para cada coagulante:

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	437
Turbiedad	12.4
Temperatura:	16.5
Color:	82

FECHA: 05-03-2024  
 HORA: 2:15 pm

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN AL2SO4 ml/l	VOLUMEN DE ADSO4 ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remocion
1		2.5	5		6	28	16.8	6.49	486	6.98	43.77
2		5	10		6	24	16.7	6.21	556	5.76	53.55
3	7.56	7.5	15		6	24	16.8	5.87	643	5.86	52.74
4		10	20		6	19	16.9	5.49	718	4.32	65.76
5		12.5	25		8	18	17.0	5.24	758	3.87	68.79
6		15	30		8	18	16.9	5.08	776	3.56	71.29

**INDICE DE WILCOMB**

- 0 Floc colondil Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE**

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNI	5
Color	UCV escala PtCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Marco Tulio Narro Centurión  
 CONTROL DE CALIDAD  
 EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	30	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	437
Turbiedad	12.4
Temperatura	16.5
Color	82

FECHA 05-03-2024  
HORA 11:20 am

JARRA N°	PH	DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					
		DOSIS COAGULAN PAC ml	MEZCLA RAPIDA Polielectrolito de Aluminio 1 <sup>o</sup> ml		FLOCULACION Tiempo de flocc 17 min Velocidad 34 RPM	INDICE DE WILCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad
1		2.5	5	10	6	16.9	7.39	442	1.74	85.97
2		5	10	8	5	17.1	7.24	449	1.21	90.24
3	7.56	7.5	15	8	3	17.0	7.05	456	0.98	92.10
4		10	20	8	3	17.3	6.98	462	0.75	93.95
5		12.5	25	8	5	17.2	6.84	467	1.25	89.92
6		15	30	8	5	17.2	6.74	471	1.87	84.92

### INDICE DE WILCOMB

- 0 Floc colorado Ningun signo de aglutinacion
- 2 Visible Floc muy pequena, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita floc pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	435
Turbiedad:	49.7
Temperatura:	16.5
Color:	309

PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

FECHA: 06-03-2024  
 HORA: 1:20 pm

AGUA CRUDA		DOSIFICACIÓN mg/l	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA						
Características Iniciales CAUDAL 300 l/s		MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1%	FLOCULACION Tiempo de flocc. 17 min Velocidad 34 RPM	SEDIMENTACION tiempo de sedimentación 20 min						
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN AL2SO4 ml	HEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Retención
1		2.5	5	6	24	16.8	6.58	488	12.8	74.25
2		5	7.0	6	20	16.9	6.24	558	10.24	79.40
3	7.39	7.5	15	6	22	16.7	5.97	647	17.04	77.19
4		10	20	8	15	16.5	5.57	722	5.21	89.52
5		12.5	25	8	17	16.4	5.37	809	4.87	90.20
6		15	30	8	14	16.8	4.98	886	4.32	97.31

### ÍNDICE DE WILCOX

- 0 Floc coloidal. Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible. Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro. Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno. Floc que se deposita fácilmente pero no completamente
- 10 Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	PCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umhos/cm	1500



Ing° Marco Julio Narro Centurión  
 CONTROL DE CALIDAD  
 EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg.
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	435
Turbiedad	497
temperatura	16.5
Color	309

FECHA 06-03-2024

HORA 10:15 am

AGUA CRUDA		DOSECACION mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA						
Características Iniciales CAUDAL 200 l/s		MEZCLA RAPIDA Polvo de Aluminio 1.0%	FLOCULACION	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T	PI	Conductividad	Turbiedad Final	%Remocion
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml:	VOLUMEN DE PAC ml								
1		2.5	5		8	3	16.9	7.18	439	1.39	97.20
2		5	10		8	2	17.1	6.82	441	0.99	98.01
3	7.39	7.5	15		8	2	17.0	6.70	443	0.86	98.27
4		10	20		8	5	16.7	6.62	445	2.1	95.77
5		12.5	25		8	11	16.8	6.58	445	1.22	97.55
6		15	30		8	4	16.9	6.37	446	1.30	97.38

### INDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Buena Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Marco Julio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	360	5 seg
FILOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	388
Turbiedad	26.8
Temperatura	16.8
Color	69

FECHA: 13-03-2024  
HORA: 11:20 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACIÓN mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características Iniciales CAUDAL 300 L/s		MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1%		FILOCULACIÓN Tiempo de flocc. 17 min Velocidad 34 RPM		SEDIMENTACIÓN tiempo de sedimentación 20 min					
JARRA N	PH	DOSIS COAGULAN Al2SO4 ml/l	VOLUMEN DE AL2SO4 ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	COLOR	T <sub>90</sub>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5	5		6	25	17.1	6.67	391	11.77	57.20
2		5	10		6	24	17.0	6.72	402	10.32	67.19
3	7.29	7.5	15		6	19	17.2	5.78	418	9.57	64.24
4		10	20		6	22	17.2	5.64	432	8.64	67.76
5		12.5	25		6	18	17.1	5.27	458	6.58	75.45
6		15	30		8	16	17.2	5.08	485	5.21	80.56

### ÍNDICE DE WILCOX

- 0 Floc coloidal Ningún signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt-Co	15
PH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Túllo Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	388
Turbiedad	26.8
Temperatura:	16.8
Color	69

FECHA 13-03-2024

HORA 9:40 am

PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLUCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características Iniciales CAUDAL 300 L/s		MEZCLA RAPIDA Polielectrolito de Aluminio 1 %	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	COLOR	T <sup>m</sup>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1	PH	2.5		10	14	17.5	7.15	392	4.25	84.14
2		5		10	12	17.6	6.97	394	3.87	85.56
3		7.5		8	12	17.5	6.85	397	3.59	86.60
4	7.29	10		8	11	17.4	6.69	401	2.54	90.52
5		12.5		8	10	17.5	6.52	402	1.98	92.67
6		15		8	9	17.4	6.48	405	1.24	95.37

### INDICE DE WILCOX

- 0 Floc coherente Ningun signo de aglutinacion
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimentación)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PVCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	352
Turbiedad	32.7
Temperatura:	15.6
Color	137

FECHA: 14-03-2024

HORA: 1:40 pm

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características Inerentes CAUDAL 300 l/s		MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1%		FLOCULACION tiempo de flocc 17 min Velocidad 34 RPM		SEDIMENTACION tiempo de sedimentación 20 min					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN AL2SO4 ml/l	VOLUMEN DE AL2SO4 ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	COLOR	T <sup>10</sup>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5	5		6	28	15.9	6.87	358	17.27	65.72
2		5	10		6	24	16.0	6.27	366	8.97	72.57
3	7.62	7.5	15		6	22	15.8	5.99	372	6.42	80.37
4		10	20		6	19	16.1	5.47	379	5.98	81.77
5		12.5	25		6	18	15.9	5.12	387	5.31	83.76
6		15	30		8	15	16.2	4.87	385	5.17	84.74

### INDICE DE WILCOX

- 0 Flocc coloidal Ningun signo de aglutinacion
- 2 Visible Flocc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Flocc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Flocc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Flocc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Flocc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PtCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO: PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



FECHA: 14-03-2024

HORA: 10:25 am

PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	352
Turbiedad	32.7
Temperatura	15.6
Color	137

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA				
Características Iniciales CAUDAL: 300 l/s		MEZCLA RAPIDA Polímero de Aluminio 1%	FLOCULACION Tiempo de flocc: 17 min Velocidad: 34 RPM	COLOR	PTI	COND	Turbiedad Final	%Remoción
JARRA N	PTI	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	PTI	COND	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5		8	7.48	356	4.27	87.73
2		5		8	7.18	360	3.78	88.44
3	7.62	7.5		8	6.94	359	3.56	89.77
4		10		8	6.82	363	3.24	90.09
5		12.5		8	6.73	368	2.95	90.98
6		15		8	6.58	370	2.79	91.47

### INDICE DE WILCOX

- 0: Floc coloidal. Ningun signo de aglutinacion
- 1: Visible. Floc muy pequeño. casi imperceptible para un observador no entrenado
- 2: Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimento muy lentamente o no sedimenta)
- 3: Claro. Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 4: Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 5: Excelente. Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parametro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PCCo	15
PTI	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Túllo Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	253
Turbiedad	167
Temperatura:	16.4
Color:	550

FECHA: 20-03-2024

HORA: 11 20 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA							
JARRA N°	PHI	DOSIS COAGULAN APS04 ml/l	VOLUMEN DE APS04 ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	FLOCULACION Tiempo de flocc: 17 min Velocidad: 34 RPM	INDICE DE WILCOX	COLOR	T <sub>10</sub>	PHI	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5	5		6		25	16.7	6.95	268	35.33	78.06
2		5	10		6		23	16.6	6.26	277	15.82	90.48
3	7.60	7.5	15		6		28	16.8	5.46	286	12.03	92.53
4		10	20		6		31	16.5	5.34	306	8.78	94.55
5		12.5	25		8		16	16.7	5.03	332	5.24	96.75
6		15	30		8		14	16.8	4.96	346	4.97	96.91

### INDICE DE WILCOX

- 0 Flocculada: Ningun signo de aglomeración
- 1 Visible: Flocc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 2 Disperso: Flocc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimento muy lentamente o no sedimenta)
- 3 Claro: Flocc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 4 Bueno: Flocc que se deposita facil pero no completamente
- 5 Excelente: Flocc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PFC6	15
PHI	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	500



Ing. Marco Julio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MIZCLA RAPIDA	300	5 seg.
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	253
Turbiedad	167
Temperatura	16.4
Color	550

FECHA 20-03-2024  
HORA 9.35 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características lineales CAJIDA 300 L/s		MIZCLA RAPIDA Polielectrolito de Aluminio 1 %		FLOCULACION Tiempo de floe 17 min Velocidad 34 RPM		SEDIMENTACION tiempo de sedimentación 20 min					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	VOLUMEN DE PAC ml	TIEMPO DE FORMACION FLOE	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5	5		10	34	17.6	7.24	266	7.2	95.53
2		5	10		8	19	17.5	6.96	274	6.75	95.81
3		7.5	15		10	6	17.5	6.64	279	3.17	98.03
4	7.60	10	20		8	4	17.5	6.37	281	5.31	96.70
5		12.5	25		8	8	17.4	6.08	292	3.57	97.78
6		15	30		8	6	17.4	5.82	300	1.78	98.89

### INDICE DE WILLCOM

- 0 Floc colorada Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	U.C.V escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO: PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	373
Turbiedad:	394
Temperatura:	17.1
Color:	178

FECHA: 27-03-2024

HORA: 10:40 am

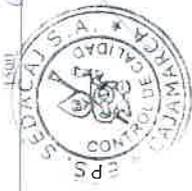
AGUA CRUDA	DOSEIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA						
JARRA N°	PHI	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T <sub>90</sub>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	% sedimentación
Características Iniciales CAUDAL: 300 L/s									
		MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1%							
1		2.5	6	34	17.7	6.09	357	15.27	67.24
2		5	6	19	17.5	5.83	369	9.65	75.57
3		7.5	6	21	17.5	5.12	391	8.87	77.49
4	7.44	10	8	19	17.5	5.03	406	5.23	86.73
5		12.5	8	15	17.6	4.97	429	4.97	87.54
6		15	8	14	17.8	4.84	444	4.58	88.38

### INDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc colorada Ningun signo de aglomeración
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimentación)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PtCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	µmhos/cm	1500



Ing° Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg.
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	343
Turbiedad	294
Temperatura	17.1
Color	118

FECHA: 21-03-2024

HORA: 8:20 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA							
Características Iniciales CALIDAD 2000 L/s		MEZCLA RAPIDA Poblacion de Aluminio 1%		FLOCULACION		FLOCULACION		FLOCULACION		FLOCULACION		FLOCULACION	
JARRA	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	VOLUMEN DE PAC ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T <sub>10</sub>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	% Remoción		
1		2.5	5		10	15	17.9	7.21	349	3.04	92.28		
2		5	10		8	16	18.1	6.97	356	2.85	92.77		
3	7.44	7.5	15		8	17	18.0	6.84	360	3.29	91.65		
4		10	20		10	17	17.8	6.68	362	1.76	95.53		
5		12.5	25		10	14	17.8	6.16	364	1.58	95.99		
6		15	30		10	9	17.7	5.92	370	1.24	96.85		

### INDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PtCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO: PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



FECHA: 24-03-2024

HORA: 10:40 am

PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	378
Turbiedad:	520.7
Temperatura:	16.9
Color:	327

AGUA CRUDA		DOSIFICACIÓN mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA								
JARRA N=	PH	MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1 % CANTIDAD: 300 Ls	DOSIS COAGULAN AL2SO4 ml	VOLUMEN DE AL2SO4 ml	TIEMPO DE FORMACIÓN FLOC	FLOCULACION (tiempo de flocc. 17 min Velocidad 34 RPM)	INDICE DE WILCOX	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Retención
1			2.5	5		6		45	16.5	7.05	385	48.2	90.74
2			5	70		4		37	16.7	6.49	394	18.7	96.41
3	7.67		7.5	15		6		32	16.6	6.39	477	15.4	97.04
4			10	20		6		19	16.5	5.78	436	9.48	98.78
5			12.5	25		6		21	16.5	5.47	487	7.22	98.64
6			15	30		6		12	16.5	5.28	502	5.68	98.97

### ÍNDICE DE WILCOX

- 0 Floc coloidal Ningún signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNI	5
Color	PCU escala PtCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

**PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.**

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	378
Turbiedad	520.7
Temperatura:	16.1
Color	327

FECHA 29-03-2024

HORA 8:15 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	MEZCLA RAPIDA Polielectrolito de Aluminio 1%	VOLUMEN DE PAC ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5		5		6	32	7.79	382	19.47	96.26
2		5		10		8	17	7.25	385	5.26	98.99
3		7.5		15		10	12	6.86	386	3.41	99.35
4	7.67	10		20		8	10	6.57	386	2.98	99.43
5		12.5		25		8	8	6.42	390	1.78	99.66
6		15		30		8	5	6.43	391	0.97	99.81

**INDICE DE WILLCOM**

- 0 Floc colorado Ningun signo de aglutinacion
- 2 Visible Floc muy pequeno, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita facil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

**LIMITE MAXIMO PERMISIBLE**

Parametro	Unidad de medida	Limite maximo permisible
Turbiedad	UNI	5
Color	UCV escala PtCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tulio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REFINCIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	386
Turbiedad:	356
Temperatura:	18.2
Color:	550

FECHA: 02-04-2024

HORA: 11:00 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACIÓN mg/l	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA							
JARRA N°	Características Iniciales CAUDAL 300 L/s	MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1%	FLOCULACION Tiempo de floe 17 min Velocidad 34 RPM	TIEMPO DE FORMACION FLOC*	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Retención
1		2.5	4		32	18.2	394	52.87	85.75		
2		5	4		26	18.2	403	24.03	97.85		
3	778	7.5	6		22	18.0	475	77.65	95.04		
4		10	6		19	18.0	427	12.47	96.50		
5		12.5	6		17	18.1	443	6.74	98.09		
6		17.5	8		13	18.2	454	4.28	98.80		

### ÍNDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNI	5
Color	UCV escala PCO	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	microsiemens	400



Ing° Marco Julio Nairo Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg.
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	386
Turbiedad	356
Temperatura	18.2
Color	550

FECHA 02-04-2024

HORA 8:32 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características Iniciales CAUDAL 300 L/s		MEZCLA RAPIDA Polielectrolito de Aluminio 1%		FLOCULACION Tiempo de floe 17 min Velocidad 34 RPM		SEDIMENTACION tiempo de sedimentación 20 min					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	VOLUMEN DE PAC ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T <sub>10</sub>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	% Remanente
1		2.5	5		6	36	18.7	7.51	394	15.13	95.75
2		5	10		6	18	18.6	7.37	396	8.92	97.49
3		7.5	15		6	17	18.5	7.27	410	8.65	97.57
4	7.78	10	20		8	12	18.4	6.86	405	3.70	98.96
5		12.5	25		8	15	18.3	6.57	408	3.26	99.08
6		15	30		8	17	18.4	6.28	412	2.22	99.36

### ÍNDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Buena Floc que se deposita bien pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parametro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PVCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tullio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

**PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.**

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	187.4
Turbiedad:	108
Temperatura:	15.3
Color:	550

FECHA: 05-04-2024  
HORA: 11:30 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA						
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN A12S04 ml/l	VOLUMEN DE A12S04 ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC*	INDICE DE WILCOX	COLOR	TURB	PH	Conductividad	Turbiedad Final	% clarificación
Características Iniciales CAUDAL: 300 L/s		MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1%			FLOCULACION Tiempo de flocc: 17 min Velocidad: 34 RPM						
1		2.5	5		4	320	15.6	6.57	186	57.4	46.85
2		5	10		4	33	15.8	6.48	193	25.6	76.30
3	7.90	7.5	15		4	29	15.8	5.90	199	19.2	82.22
4		10	20		4	22	15.7	5.36	207	11.7	89.17
5		12.5	25		6	19	15.9	5.72	222	6.89	93.62
6		15	30		6	15	15.9	5.0	242	4.68	95.67

**ÍNDICE DE WILCOX**

- 0 Floc coloidal. Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible. Floc muy pequeño. casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro. Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente. Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE**

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNI	5
Color	UCV escala PtCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing° Marco Tulio Centurión  
COMITÉ DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO: PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	181.4
Turbiedad	108
Temperatura	15.3
Color	550

FECHA: 05-04-2024

HORA: 9:45 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
JARRA N°	PH	MEZCLA RAPIDA Polietileno de Aluminio 1 <sup>o</sup>	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T <sub>50</sub>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	% Remoción
1		2.5		6	37	75.9	7.49	188.3	15.25	88.88
2		5		8	9	15.7	7.34	193.2	3.24	97.00
3	7.90	7.5		8	7	15.7	7.22	197	2.78	97.43
4		10		8	8	15.6	7.02	200.4	2.33	97.84
5		12.5		8	6	15.6	6.63	203.4	1.89	98.25
6		15		8	9	15.9	6.52	206	2.01	98.14

### INDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc coloidal. Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro. Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente. Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umhos/cm	1500



Ing° Marco Julio Nieto Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS	
CONDICIONES DE OPERACION	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA 300	5 seg
FLOCULACION 34	17 min
SEDIMENTACION 0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	314
Turbiedad:	980
Temperatura:	15.4
Color:	550

FECHA: 08-04-2024

HORA: 1:30 pm

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA						
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN A12S04 ml/l	VOLUMEN DE A12S04 ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
Características Iniciales CAUDAL 300 L/s		MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1 %		FLOCULACION Tiempo de floc 17 min Velocidad 34 RPM		SEDIMENTACION tiempo de sedimentacion 20 min					
1		2.5	5		2	358	15.7	6.48	328	237	75.62
2		5	10		2	108	15.8	6.03	336	63.4	93.53
3	7.56	7.5	15		4	79	15.8	5.97	353	21.5	97.87
4		10	20		4	54	15.9	5.84	364	12.9	98.68
5		12.5	25		4	38	16.1	5.57	384	8.47	99.14
6		15	30		6	22	16.2	5.21	401	5.05	99.46

### INDICE DE WILCOX

- 0 Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
- 2 Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimentación)
- 6 Claro. Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Buena. Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente. Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PCV	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. César Julio Pardo Centurión  
COORDINADOR DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO: PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	30 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	314
Turbiedad:	980
Temperatura	15.4
Color:	550

FECHA: 08-04-2023

HORA: 10:12 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T°	Conductividad	Turbiedad Final	% de floculacion
Características Iniciales CAUDAL 300 l/s		MEZCLA RAPIDA Polielectrolito de Aluminio 1%	FLOCULACION Tiempo de flocc 17 min Velocidad 34 RPM						
1		2.5		6	277	15.7	325	48.7	95.03
2		5		6	50	15.5	324	9.44	99.04
3		7.5		8	15	15.4	342	4.26	99.57
4	7.56	10		8	19	15.8	343	3.65	99.61
5		12.5		8	14	15.9	853	3.71	99.62
6		15		8	17	15.9	353	2.27	99.77

### INDICE DE WILLCOM

- 0 Floc coloidal. Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	PCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



EPS SEDACAJ S.A.  
 Gerente General  
 Gerente de Calidad  
 EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	397
Turbiedad:	240
Temperatura:	16.6
Color:	550

FECHA: 17-04-2024

HORA: 17:43 am

AGUA CRUDA	DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA																	
Características Iniciales CAJIDAL 300 Lts	MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1%	FLOCULACION Tiempo de floe 17 min Velocidad 34 RPM	TIEMPO DE FORMACION FLOC*	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción										
											VOLUMEN DE COAGULAN A12S04 ml									
											1	2.5	5	2	43	17.1	6.42	405	54.19	75.34
											2	5	10	2	32	17.0	6.32	476	36.89	84.64
											3	7.5	15	4	38	17.1	5.58	438	17.74	92.61
											4	10	20	4	39	17.2	5.29	449	9.67	96.00
											5	12.5	25	6	25	17.2	5.79	465	8.51	96.45
6	15	30	8	19	16.9	5.09	481	5.38	97.76											

### ÍNDICE DE WILLCOM

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinacion
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentia muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fact) pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PCCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Marco Jollo Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO

PLANTA "EL MILAGRO"

PRUEBA DE JARRAS

FUENTE:

CÁMARA DE REUNIÓN



CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	397
Turbiedad	240
Temperatura	16.6
Color	550

PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg.
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

FECHA: 17-04-2024

HORA: 9:20 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACIÓN mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características Iniciales CAUDAL: 300 L/s		MEZCLA RAPIDA Polietileno de Aluminio 1%		FLOCULACION Tiempo de floc: 17 min Velocidad: 34 RPM		SEDIMENTACION tiempo de sedimentación: 20 min					
JARRA N	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	VOLUMEN DE PAC ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	COLOR	T <sub>10</sub>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5	5		6	34	17.6	7.77	404	8.24	96.57
2		5	10		8	17	17.5	7.26	407	4.15	98.27
3		7.5	15		8	11	17.3	7.18	470	1.67	99.33
4	7.55	10	20		8	13	17.1	6.99	412	1.98	99.78
5		12.5	25		8	10	17.1	6.73	499	1.76	99.27
6		15	30		8	13	17.0	6.48	423	1.70	99.24

### INDICE DE WILCOX

- 0 Floc coloidal: Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible: Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso: Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro: Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno: Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente: Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de PH	6.5 a 8.5
Conductividad	amb/cm	1500



Ingeniero Filiberto Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	402
Turbiedad	71.5
Temperatura:	17
Color:	476

FECHA: 23-04-2024

HORA: 2:15 pm

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
JARRA N°	PH	MEZCLA RAPIDA Sulfato de Aluminio 1 %	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOX	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5		4	29	17.6	6.47	409	75.97	77.66
2		5		4	39	17.5	6.21	478	77.93	84.07
3	7.52	7.5		6	33	17.6	5.52	432	9.65	86.50
4		10		6	28	17.5	5.18	450	7.77	89.22
5		12.5		6	22	17.5	5.04	468	6.79	91.34
6		15		8	19	17.4	4.99	480	5.21	92.71

### ÍNDICE DE WILCOX

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala P/C <sub>60</sub>	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umhos/cm	1500



Ing° Marco Julio Nieto Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	402
Turbiedad	77.5
temperatura	17
Color	476

FECHA 23-04-2024

HORA 17:20 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l	OBSERV. VISUALES	AGUA SEDIMENTADA						
JARRA N°	PH	MEZCLA RAPIDA Polichloruro de Aluminio 1%	FLOCULACION Tiempo de floe 17 min Velocidad 34 RPM	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	% de floculacion
1		2.5		8	16	17.9	7.37	409	4.86	93.20
2		5		9	14	17.3	7.32	414	3.27	95.43
3		7.5		8	22	17.5	7.41	477	3.93	94.50
4	7.52	10		8	17	17.5	6.82	418	2.98	95.83
5		12.5		8	9	17.5	6.49	422	2.95	95.87
6		15		8	8	17.5	6.24	427	1.74	97.53

### INDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Buencito Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Marco Julio Narro Centurión  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS  
 FUENTE CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACIÓN	34	17 min
SEDIMENTACIÓN	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	476
Turbiedad:	67.7
Temperatura:	77.7
Color:	300

FECHA: 26-04-2024  
 HORA: 12:30 pm

JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN (Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ml	VOLUMEN DE Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOB	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción	AGUA SEDIMENTADA	
												SEDIMENTACION tiempo de sedimentación 20 min	
1		2.5	5		4	29	77.5	6.69	439	17.3	71.69		
2		5	10		6	22	77.5	5.42	452	13.5	77.91		
3	7.60	7.5	15		6	18	77.6	5.28	467	10.7	82.49		
4		10	20		6	16	77.4	4.95	473	9.6	84.24		
5		12.5	25		6	12	77.6	4.26	497	7.5	87.73		
6		7.5	30		8	10	77.7	4.72	507	5.2	91.49		

**INDICE DE WILCOB**

- 0 Floc coloidal - Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE**

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Marco Polo Nieto Cepitún  
 CONTROL DE CALIDAD  
 EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO: PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS

FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RÁPIDA	300	5 seg
FLOCULACIÓN	34	17 min
SEDIMENTACIÓN	0	20 min

CARACTERÍSTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	476
Turbiedad	677
Temperatura	777
Color	300

FECHA: 26-04-2024

HORA: 10:43 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACIÓN mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características Iniciales CAUDAL: 300 L/s		MEZCLA RÁPIDA Polielectrolito de Aluminio 1%		FLOCULACIÓN Tiempo de floc 17 min Velocidad 34 RPM		SEDIMENTACIÓN tiempo de sedimentación 20 min					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	VOLUMEN DE PAC ml	TIEMPO DE FORMACIÓN FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T <sub>10</sub>	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5	5		8	9	18.4	7.39	476	5.21	91.47
2		5	10		8	11	18.6	7.27	479	3.98	93.79
3	7.60	7.5	15		8	9	18.5	7.18	423	3.77	93.83
4		7.0	20		8	7.0	18.7	6.94	426	3.48	94.30
5		12.5	25		8	8	18.8	6.60	430	3.23	94.77
6		15	30		8	7	18.8	6.30	438	2.7	95.58

### ÍNDICE DE WILLCOM

- 0 Floc colorado Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimentación)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala PCCo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Carlos Alberto Contreras  
COORDINADOR DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO PLANTA "EL MILAGRO" PRUEBA DE JARRAS



FUENTE: CÁMARA DE REUNIÓN

PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg
FLOCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad:	398
Turbiedad:	91.4
Temperatura:	16.8
Color:	225

FECHA: 09-05-2024

HORA: 11:40 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN Al2SO4 ml	VOLUMEN DE Al2SO4 ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		25	5		2	35	17.1	6.12	412	33.7	63.73
2		5	10		4	25	17.3	6.22	439	15.6	82.93
3	7.72	7.5	15		4	23	17.2	5.87	475	13.7	85.01
4		10	20		4	22	17.4	5.64	509	9.35	89.22
5		12.5	25		6	19	17.3	5.32	498	6.24	93.77
6		15	30		6	16	17.3	4.97	502	5.49	93.99

### INDICE DE WILCOMB

- 0 Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
- 2 Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimentación muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro. Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente. Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNI	5
Color	PCU escala PCUo	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umhos/cm	1500



Ing. Marco Julio Nieto Celis  
CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

# PRUEBA DE JARRAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL MILAGRO" SEDACAJ S.A.

LABORATORIO

PLANTA "EL MILAGRO"

PRUEBA DE JARRAS

FUENTE:

CÁMARA DE REUNIÓN



PRUEBA DE JARRAS		
CONDICIONES DE OPERACION	VELOCIDAD (R.P.M)	TIEMPO
MEZCLA RAPIDA	300	5 seg.
FLUCULACION	34	17 min
SEDIMENTACION	0	20 min

CARACTERISTICAS AGUA CRUDA	
Conductividad	398
Turbiedad	914
Temperatura	16.8
Color	225

FECHA 09-05 - 2024

HORA 8.10 am

AGUA CRUDA		DOSIFICACION mg/l		OBSERV. VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Características Iniciales CAUDAL 300 L/s		MEZCLA RAPIDA Polielectrolito de Aluminio 1%		FLUCULACION Tiempo de flocc 17 min Velocidad 34 RPM		SEDIMENTACION tiempo de sedimentación 20 min					
JARRA N°	PH	DOSIS COAGULAN PAC ml/l	VOLUMEN DE PAC ml	TIEMPO DE FORMACION FLOC	INDICE DE WILLCOM	COLOR	T°	PH	Conductividad	Turbiedad Final	%Remoción
1		2.5	5		10	12	17.2	7.31	402	4.87	94.67
2		5	10		8	10	17.1	7.19	403	3.91	95.72
3		7.5	15		8	9	17.0	6.95	404	2.32	97.46
4	7.72	10	20		8	8	17.2	6.84	404	1.87	97.95
5		12.5	25		8	7	17.3	6.76	405	1.24	98.54
6		15	30		8	6	17.3	6.57	406	0.95	98.96

### INDICE DE WILLCOMB

- 0 Floc coloidal Ningun signo de aglutinación
- 2 Visible Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
- 4 Disperso Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
- 6 Claro Floc relativamente grande pero que no precipita con lentitud
- 8 Bueno Floc que se deposita fácil pero no completamente
- 10 Excelente Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina

### LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV escala Pt/Co	15
PH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1500



Ing. Marco Inés Nieto Centurión  
GERENTE DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.

---

Bach. Chávez Collantes Dina Flor

Tesista

---

Dr. Medina Chávez Agustín Emerson