

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Evaluación de dos coagulantes: cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de SEDA Huánuco 2024”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Agustín Céspedes, Alexandra

ASESOR: Gámez Penadillo, Joel

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería ambiental**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76460078

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 23018222

Grado/Título: Maestro en ciencias económicas, mención:
proyectos de inversión

Código ORCID: 0000-0003-4228-565X

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002-3013-8532



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 20 del mes de junio del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

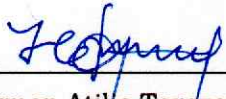
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente)
- Mg. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 0995-2025-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EVALUACIÓN DE DOS COAGULANTES: CLORURO DE POLIALUMINIO Y SULFATO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN DEL AGUA CRUDA EN LA PTAP DE SEDA HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **AGUSTIN CESPEDES, ALEXANDRA**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas; procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADA Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de BUENO (Art. 47)

Siendo las 18:30 horas del día 20 del mes de Junio del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal
DNI: 22411008
ORCID: 0000-0001-5319-4708
Presidente


Mg. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Secretario


Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia
DNI: 46378040
ORCID: 0000-0002-3013-8532
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: ALEXANDRA AGUSTÍN CÉSPEDES, de la investigación titulada "Evaluación de dos coagulantes: cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de SEDA Huánuco 2024", con asesor(a) JOEL GAMEZ PENADILLO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2164-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 22 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 29 de abril de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

openjournal.masda.ac.id

Fuente de Internet

2%

3

docplayer.es

Fuente de Internet

2%

4

repositorio.unemi.edu.ec

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uraccan.edu.ni

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios por las bendiciones que me otorga cada día. A mis padres por su apoyo moral permanente. A mis hermanos y esposo por el soporte que me ofrecieron en toda mi formación profesional, ello motivo para no desistir y culminar mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Huánuco, por la calidad educativa que me ofrecieron, la cual fue bastante para el perfeccionamiento de esta investigación.

A mi asesor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones no hubiese podido llegar a esta instancia anhelada.

A la PTAP de Seda Huánuco, por las facilidades que me brindaron para el acopio de muestras, dicha situación fue primordial para el beneficio de los propósitos de esta tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.3 OBJETIVO GENERAL	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.7.1 VIABILIDAD OPERATIVA	17
1.7.2 VIABILIDAD ECONÓMICA.....	17
1.7.3 VIABILIDAD TÉCNICA	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	18
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.2 BASES TEÓRICAS	22
2.2.1 EL AGUA	22
2.2.2 PROCESO DE POTABILIZACIÓN	26
2.2.3 COAGULANTES	42

2.2.4	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO	46
2.2.5	TEORÍA DE JARRAS.....	48
2.3	DEFINICIONES CONCEPTUALES	49
2.4	HIPÓTESIS	50
2.4.1	HIPÓTESIS GENERAL	50
2.4.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	50
2.5	SISTEMA DE VARIABLES	52
2.5.1	VARIABLE DEPENDIENTE	52
2.5.2	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	52
2.6	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	53
CAPÍTULO III.....		54
MARCO METODOLÓGICO.....		54
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
3.1.1	ENFOQUE	54
3.1.2	ALCANCE O NIVEL	54
3.1.3	DISEÑO	54
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	57
3.2.1	POBLACIÓN	57
3.2.2	MUESTRA.....	57
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	57
3.3.1	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	58
3.3.2	PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	58
3.3.3	PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ..	58
3.3.4	MATERIALES	58
3.3.5	EQUIPOS.....	59
3.3.6	REACTIVOS	59
3.3.7	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	60
CAPÍTULO IV		72
RESULTADOS		72
4.1	PROCESAMIENTO DE DATOS	72
4.1.1	PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS	72
4.2	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	92
4.2.1	HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 1	92

4.2.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 2	93
4.2.3	HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 3	95
4.2.4	HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 4	96
4.2.5	HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 5	98
4.2.6	HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 6	99
4.2.7	HIPÓTESIS GENERAL	100
CAPÍTULO V		103
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		103
5.1	PRESENTAR LA CONTRATACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	103
CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES.....		110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		111
ANEXOS		119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles (LMP) del Decreto Supremo N.º 031-2010-SA	24
Tabla 2 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Potable	25
Tabla 3 Índice de floculación de Willcomb	36
Tabla 4 Especificaciones del Sulfato de Aluminio	43
Tabla 5 Especificaciones del Cloruro de Polialuminio	45
Tabla 6 Operacionalización de variables	53
Tabla 7 Propiedades fisicoquímicas del agua cruda al añadir el sulfato de aluminio	72
Tabla 8 Propiedades fisicoquímicas del agua cruda al añadir el cloruro de polialuminio.....	78
Tabla 9 Comprobación de la primera hipótesis específica	92
Tabla 10 Comprobación de la segunda hipótesis específica.....	94
Tabla 11 Comprobación de la tercera hipótesis específica	95
Tabla 12 Comprobación de la cuarta hipótesis específica	97
Tabla 13 Comprobación de la quinta hipótesis específica.....	98
Tabla 14 Comprobación de la hipótesis general	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Potable	27
Figura 2 Fuerzas de atracción y repulsión	28
Figura 3 Reestabilización de partículas	29
Figura 4 Fases de la coagulación	31
Figura 5 Coagulación por adsorción	32
Figura 6 Coagulación por barrido.....	32
Figura 7 Floculación	35
Figura 8 Filtros de gravedad	41
Figura 9 Mapa de ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Huánuco	47
Figura 10 Sistema de tratamiento de agua potable - Huánuco	48
Figura 11 Tesista con el EPP correspondiente	61
Figura 12 Preparación de la solución madre concentrada al 10% de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio	62
Figura 13 Preparación de la solución madre concentrada al 10% de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio	62
Figura 14 Preparación de la solución de trabajo concentrada al 1% de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio uno diario	63
Figura 15 Toma de muestra en el canal de ingreso de agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco.....	64
Figura 16 Toma de muestras	65
Figura 17 Registro de la turbidez inicial	65
Figura 18 Medición de la turbidez	66
Figura 19 Registro de turbidez final	66
Figura 20 Muestra de agua en el banco de pruebas de jarras	67
Figura 21 Aplicación y dosificación del insumo químico en el banco de prueba de jarras a diferentes niveles de dosis	68
Figura 22 Aplicación y dosificación del insumo químico en el banco de prueba de jarras a diferentes niveles de dosis	68
Figura 23 Aplicación y dosificación del insumo químico en el banco de prueba de jarras a diferentes niveles de dosis	69
Figura 24 Proceso de coagulación y floculación	69

Figura 25 Toma de muestra directa a cada jarra	70
Figura 26 Toma de muestra directa a cada jarra	70
Figura 27 Toma de muestra para laboratorio	71
Figura 28 Anotación de resultados para analizarlos.....	71
Figura 29 Análisis comparativo del aluminio residual en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio.....	80
Figura 30 Análisis comparativo de alcalinidad en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio	82
Figura 31 Análisis comparativo de turbiedad final en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio	84
Figura 32 Análisis comparativo del % de remoción en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio	86
Figura 33 Análisis comparativo del tiempo de formación del floc en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio	88
Figura 34 Análisis comparativo del índice de Wilcomb en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio.....	89
Figura 35 Análisis comparativo del pH en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio.....	90
Figura 36 Análisis comparativo de la dosis óptima en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio	91

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar qué coagulante, Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio, es más eficiente en la coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. La coagulación es un proceso del tratamiento del agua, donde los coagulantes desestabilizan partículas coloidales para facilitar su eliminación mediante floculación y sedimentación. Se empleó una metodología cuantitativa, explicativa y con diseño experimental de comparación del efecto de dos coagulantes sobre la coagulación del agua cruda, posibilitando evaluar la interacción de los coagulantes en parámetros fisicoquímicos. Se analizó una muestra de 24 litros de agua del río Higuera mediante pruebas de jarras y fichas de recolección de datos. Los resultados indicaron que: i) el Cloruro de Polialuminio logró una remoción de turbidez del 97.1% frente al 95.6% del Sulfato de Aluminio, reduciendo la turbidez de 28.5 NTU a 0.83 NTU ii) el Sulfato de Aluminio disminuyó el pH de 7.3 a 6.5, mientras que el Cloruro de Polialuminio mantuvo valores entre 7.1 y 7.3 iii) la concentración de aluminio residual fue de 0.18 mg/L con Cloruro de Polialuminio y 0.25 mg/L con Sulfato de Aluminio iv) el Cloruro de Polialuminio redujo la alcalinidad en un 45%, mientras que el Sulfato de Aluminio lo hizo en un 38%. En conclusión, el Cloruro de Polialuminio demostró mayor eficiencia en la remoción de turbidez, menor impacto en el pH y menor concentración de aluminio residual, consolidándose como la mejor opción para optimar el proceso de coagulación en la PTAP de Seda Huánuco.

Palabras clave: Coagulación, cloruro de polialuminio, sulfato de aluminio, tratamiento de agua, contaminación ambiental.

ABSTRACT

The study aimed to determine which coagulant, Poly-Aluminum Chloride or Aluminum Sulfate, is more efficient in the coagulation of raw water at the Seda Huánuco Water Treatment Plant (PTAP) in 2024. Coagulation is a water treatment process in which coagulants destabilize colloidal particles to facilitate their removal through flocculation and sedimentation. A quantitative, explanatory methodology with an experimental design was used to compare the effect of two coagulants on the coagulation of raw water, allowing the evaluation of their interaction on physicochemical parameters. A 24-liter water sample from the Higuera River was analyzed using jar tests and data collection sheets. The results indicated that: i) Poly-Aluminum Chloride achieved a turbidity removal of 97.1%, compared to 95.6% for Aluminum Sulfate, reducing turbidity from 28.5 NTU to 0.83 NTU ii) In terms of pH, Aluminum Sulfate lowered the pH from 7.3 to 6.5, while Poly-Aluminum Chloride maintained values between 7.1 and 7.3 iii) The residual aluminum concentration was 0.18 mg/L with Poly-Aluminum Chloride and 0.25 mg/L with Aluminum Sulfate iv) Poly-Aluminum Chloride reduced alkalinity by 45%, whereas Aluminum Sulfate achieved a 38% reduction. In conclusion, Poly-Aluminum Chloride demonstrated higher efficiency in turbidity removal, had a lower impact on pH, and resulted in a lower residual aluminum concentration, making it the best option for optimizing the coagulation process at the Seda Huánuco Water Treatment Plant.

Keywords: coagulation, polyaluminum chloride, aluminum sulfate, water treatment, environmental pollution.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Huánuco existe una gran demanda de agua bebible y hay un déficit de este, se cuenta con una Planta de Tratamiento, está diseñada para el convencional procedimiento de rápida filtración del agua cruda y como principal coagulante se usa el sulfato de aluminio (Kiuchi, 2022). Ya que, es de importancia para el hombre el agua, debido a que es considerado el solvente universal, hace posible descartar sustancias que son generadas por procesos bioquímicos formados. Sin embargo, este transporta también al organismo nocivas sustancias, generando a las personas daños en su salud (Chulluncuy, 2011).

En base a lo mencionado, se determinó que es posible comparar el uso distintos tipos de coagulantes en el tratamiento de agua potable. Para ello, se formuló la siguiente interrogante: ¿Qué coagulante: ¿Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024? Teniendo como objetivo determinar que coagulante: Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. Para ello, la metodología es de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño experimental, teniendo como muestra a 24L de agua cruda del Río Higuera y se aplicó la ficha de recolección de datos. y, comprobar que: El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

Por tanto, el informe se estructura de la siguiente manera:

Capítulo I: Se encuentra la problemática y los fines formulados.

Capítulo II: Se narra los postulados teóricos sobre el objeto de análisis.

Capítulo III: Se puntualiza el marco metodológico usado para llegar a los objetivos.

Capítulo IV: Se encuentran los efectos del experimento.

Capítulo V: Se describe la discusión de los hallazgos.

Finalmente, se encuentran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos correspondientes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Más del 70% del área terrenal se halla sobre agua; está presente en el suelo, el aire, océanos, lagos y ríos. Es el sustento y la fuente de vida, permite nivelar el clima mundial y con su potencia forma la tierra. Al tener únicos atributos la convierten en primordiales para la vida. Es un flexible material: en diversos procesos metabólicos es un reactivo ideal y solvente extraordinario, cuando se congela puede tener la capacidad de expandirse y tiene una gran capacidad calorífica (Fernández, 2012).

Es sumamente imperante para el humano el agua, debido a que es considerado el solvente universal, hace posible excluir sustancias que son generadas por métodos bioquímicos formados en el organismo. No obstante, este transporta al organismo nocivas sustancias, generando a las personas daños en su salud (Chulluncuy, 2011). Por ejemplo, se calcula que todos los años un promedio de 900 millones de individuos tienen padecimientos diarreicos conexas con el agua y otros 2 millones tienen que consumir agua contaminada o por ausencia de agua (SUNASS, 2004).

En la actualidad es primordial adaptar el tratamiento de agua potable en distintos propósitos que esta puede tener. Se necesitan estas tecnologías, ya que cada vez más son confiables, selectivas, eficientes y económicas para que esta sea mayor. La total cantidad de agua es frecuente y la demanda de este se incrementa diariamente. El aumento de la demanda no solo es cantidad, ya que también en la calidad y la cantidad que los seres humanos forman en el agua superficial, pues el problema de su disponibilidad se incrementa de forma alarmante (Perozo y Abreu, 2017). El propósito del tratamiento de agua potable es conseguir que el agua tiene algunas adecuadas características como que tiene que ser insípida, inodora, incolora, limpia y segura, no tiene que tener presencia de elementos de suspensión, tiene que estar libre de radioactivos contaminantes, orgánicos e inorgánicos, debe contener una proporción explícita de gases y sales inorgánicas disueltas, y además no tiene que evidenciar microorganismos patógenos que pueden colocar la salud en peligro (SUNASS, 2004).

Actualmente en el Perú, solo el 10% de la localidad no tiene agua potable (SUNASS, 2023). En la ciudad de Huánuco existe una gran demanda de agua bebible y hay un déficit de este, a pesar de que se tiene una Planta de Tratamiento, la cual está diseñada para el convencional tratamiento de rápida filtración, en donde se aplica el coagulante sulfato de aluminio, para desestabilizar las cargas (neutralizarlas) y generar el floc, asimismo el eliminar el color, turbidez, toda materia orgánica, carga microbiológica patógena (coliformes), entre otros (Kiuchi, 2022).

Desde los años 60's se han usado los coagulantes químicos han sido usados para potabilizar el agua es el sulfato de aluminio $(\text{Al}_2\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ y el cloruro de aluminio $[\text{AlCl}_3]$ [PAC], conocido mejor como alumbre], en las naciones de vías de progreso, estos son los más usados, debido a que son de acceso fácil, son económicos y poseen una efectividad alta para ayudar a remover el virus, bacterias, microorganismos patógenos, turbiedad y color (Sandoval y Laines, 2013).

Dados los distintos estudios existentes se fijó que es viable comparar la utilidad de distintos tipos de coagulantes en el proceso de tratamiento de agua potable, se desarrolló el estudio con el fin de aplicar dos coagulantes de aluminio para optimizar el proceso de potabilización del agua en la PTAP Seda Huánuco – 2024 y así dar solución al principal problema identificado y planteado de la siguiente manera: ¿Qué coagulante: Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?

- ¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en la disminución del pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?
- ¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?
- ¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?
- ¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?
- ¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o el Sulfato de Aluminio es más factible económicamente?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar que coagulante: Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contrastar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y del Sulfato de Aluminio en la remoción de la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.
- Analizar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la disminución del pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.
- Comparar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la remoción de la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.
- Contrastar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la reducción del índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

- Analizar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la disminución del nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.
- Determinar si el Cloruro de Polialuminio o el Sulfato de Aluminio es más factible económicamente.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio buscó recopilar y ampliar los conocimientos sobre el asunto de potabilización del agua y sobre los primordiales coagulantes que se usan en este para poder optimizar el proceso y obtener agua potable con mejores condiciones fisicoquímicas, esta investigación se enfoca en la adición del PAC y el Sulfato de Aluminio. Del mismo modo se expondrán datos que permitan realizar una comparación de la efectividad entre ambos coagulantes, las investigaciones que buscan comparar los coagulantes usados en la potabilización del agua son escasas en el Perú, por lo que se puede afirmar que la investigación es innovadora para el progreso del tratamiento de agua potable en el país. Ya que se abordarán distintos conceptos en la teoría del estudio, este puede emplearse en trabajo futuros que estudien un tema similar.

Esta investigación permitió ampliar los conocimientos que se tienen acerca de la potabilización del agua y la forma en la que los coagulantes de aluminio como el PAC y el Sulfato de Aluminio influyen en las propiedades fisicoquímicas del agua potable.

La presente investigación buscó analizar la efectividad del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio para optimizar la potabilización del agua, es por ello que se desarrollará la parte experimental en la cual se comparará la efectividad y la factibilidad económica de ambos coagulantes, comparando la concentración de turbidez, el pH, la concentración de alcalinidad, el índice de Willcomb y el nivel de concentración con los límites máximos permitidos establecidos en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. De igual manera, los resultados que se obtendrán en la investigación podrán valer como base académica para otros estudios que pueden tomar el estudio como un antecedente.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la ejecución de la investigación, la única limitación que se identificó fue la escasa información de antecedentes locales y otras investigaciones en el tema de investigación.

1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 VIABILIDAD OPERATIVA

Es viable operativamente porque se cuenta con la posibilidad de ingresar a la Planta de Tratamiento de Agua Potable y acceso a los equipos para el análisis de muestras en el laboratorio de la Empresa Municipal de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado EPS SEDA Huánuco S.A.

1.7.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

Es viable económicamente se cuentan con los fondos necesarios para iniciar los estudios.

1.7.3 VIABILIDAD TÉCNICA

Es técnicamente viable ya que se cuenta con el asesoramiento de profesionales especialistas en el tema de investigación, asimismo se cuenta con las técnicas y procedimientos de la información del trabajo de campo, para la ejecución de la investigación

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Galvis y Marín (2020) desarrollaron el informe “Comparación de la eficiencia de remoción del coagulante sulfato de aluminio frente al coagulante policloruro de aluminio (PAC) para tratamiento de agua potable”, presentada a la Universidad Libre, para optar el grado profesional de Especialista en Gestión Ambiental. Para lograr el fin del estudio se comparó la eficiencia que tienen los coagulantes PAC y Sulfato de Aluminio en la remoción de turbiedad y color. La investigación fue de tipo documental. Los resultados mostraron que el 53.53% de autores coinciden que el PAC tiene una eficiencia mayor; en el 51.32% el PAC tuvo una eficiencia mayor en la remoción de turbidez; en el 52.20% el Sulfato de Aluminio tuvo una mayor eficacia en la eliminación de color; el sulfato de aluminio tuvo más eficiencia con la turbidez en un 76.24%; y el PAC tuvo una eficacia del 81.12% en la separación de la turbidez. Se concluyó que el PAC tuvo una mayor eficiencia en la remoción de la turbiedad y el sulfato de aluminio es más eficiente en la remoción de color.

Crespo (2021) ejecutó la tesis “Análisis comparativo entre el Hidroxicloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio como alternativa coagulante en la Planta de tratamiento de agua potable Mahuarcay en la ciudad de Azogues”, presentada en la Universidad Estatal de Milagro, para lograr el grado profesional de Magíster en Química Aplicada. El estudio buscó evaluar la efectividad del hidroxicluro de aluminio como un coagulante alternativo al proceso de coagulación en el área de estudio. La metodología que el estudio siguió fue de tipo cuantitativa y experimental, se tomó como muestra 60 litros de agua cruda. Los resultados mostraron que con el sulfato de aluminio hubo una remoción de turbidez del 90.54% y el hidroxicluro de aluminio tiene una remoción de 97.70%; con el sulfato de aluminio hubo una remoción de color del 94.02% y con el hidroxicluro de aluminio una remoción del 98.67%. Se

llegó a la conclusión de que el hidroxiclورو de aluminio es mejor coagulante.

Chele (2019) realizó la tesis “Determinación de la dosis del coagulante sulfato de aluminio Tipo A para el tratamiento de agua potable en la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Sucúa”, presentada a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para obtener el grado académico de Ingeniera en Biotecnología Ambiental. Se determinó la óptima dosis del sulfato de aluminio tipo A para la planta de tratamiento de agua potable del cantón de Sucúa según el pH, color y turbiedad. La metodología fue de tipo descriptivo y documental; la muestra estuvo conformada por 27 muestras simples de agua cruda. Los resultados muestran después de aplicar el coagulante la turbiedad se reduce a 2,23 NTU; el color se reduce a 0 UPC; y el pH oscila entre 7.58 y 8.18. Se llegó a la conclusión de que el sulfato de aluminio tipo A optimiza los procesos de floculación y coagulación del agua.

Yann y otros autores (2020) desarrollaron el artículo científico “La eficacia de diferentes tipos de dosificación de cloruro de polialuminio (PAC) y sulfato de aluminio (alumbre) con $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ para el tratamiento de aguas superficiales del río Tonle Sap”, presentado en la 13^{ava} Conferencia Regional AUN/SEED-Net sobre Ingeniería Química 2020. El estudio buscó optimizar el estado adecuado de dos tipos diferentes (amarillo y marrón) de policloruro de aluminio (PAC) y alumbre con $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ para el tratamiento de aguas superficiales del río Tonle Sap. El estudio fue de diseño experimental. El resultado del experimento mostró que la mayor eficiencia de eliminación de turbidez es del 97,1%, 95,6% y 95,6% de 60 mg/L de PAC amarillo, PAC marrón y alumbre respectivamente, mientras que el pH cambió de 7,45 a 7,08, 6,88 y 6,77 respectivamente. Se concluyó que la mayor eliminación de turbidez se obtuvo con 40 mg/L de PAC marrón dentro del 96,8%, 60 mg/L de PAC amarillo y alumbre dentro del 97,1% y 95,6%, respectivamente.

Teguh y otros autores (2022) ejecutaron el artículo científico “La eficacia y optimización de costos del coagulante clorohidrato de aluminio (ACH), sulfato de aluminio (AS) y policloruro de aluminio (PAC) en el

proceso de coagulación en The PT. Unidad de servicios públicos Pupuk Sriwijaya (PT. Pusri)", publicado en la Revista Indonesia de Gestión Ambiental y Sostenibilidad, vol. 6, núm. 1, pp. 189-195. Se evaluó la efectividad y optimizar el uso de los coagulantes clorohidrato de aluminio (ACH), sulfato de aluminio (AS) y policloruro de aluminio (PAC) para disminuir la turbiedad de la muestra de agua del río Musi. El estudio fue experimental. Los resultados mostraron que con el clorohidrato de aluminio (ACH) redujo la turbidez a 0.73 NTU y el valor de pH de la muestra aumentó y disminuyó con respecto al valor de pH de la muestra inicial; con el sulfato de aluminio la turbidez se redujo a 0.76 NTU y el valor del pH disminuyó; y con el policloruro de aluminio (PAC) la turbidez se redujo a 0.36 NTU y el valor del pH tuvo tendencia a disminuir. Se llegó a la conclusión de que el clorohidrato de aluminio (ACH) y el policloruro de aluminio (PAC) son más efectivos y el sulfato de aluminio (AS) es más rentable.

Owusu et al. (2021) realizaron el artículo científico "Efectos de la dosificación de cloruro de polialuminio sobre el rendimiento de la coagulación: estudio de caso, Barekese, Ghana" publicado en la Revista Práctica y tecnología del agua, vol. 16, núm.4, pp. 1215–1223. Se buscó determinar la dosis óptima de coagulante, la velocidad de mezcla y el pH de funcionamiento para mejorar el rendimiento en el tratamiento del agua. El estudio fue experimental. Los resultados mostraron que el pH al aplicar el PAC varió de 7.5 a 8.0, y mejoró la eliminación de turbidez y color del agua tratada. Se llegó a la conclusión de que el PAC fue efectivo.

Aghyani y otros autores (2023) elaboraron el artículo científico "Estudio comparativo del rendimiento del polialuminio férrico y del policloruro de aluminio para la eliminación de turbidez del agua de río", publicado en la Revista Investigación Económica, Energética y Ambiental, vol7, núm. 3, pp. 1-7. se evaluó la efectividad de PAF y PAC en diferentes niveles de turbidez para encontrar condiciones operativas óptimas para aguas fluviales de turbidez baja a alta. Se realizó una serie de experimentos de prueba de jarras para encontrar la dosis óptima de coagulante para la eliminación de turbidez en muestras del río

Babolrood. Los resultados demostraron que el proceso de coagulación puede asegurar la eliminación de turbidez de aguas de turbidez baja a alta (es decir, 18,3, 39,2, 72,5 y 136 NTU). utilizando eficazmente niveles relativamente bajos de polialuminio férrico y policloruro de aluminio (2,5 a 16 ppm), la mayor eficiencia de eliminación de turbidez estuvo entre 96,6 y 98,3 % para polialuminio férrico y policloruro de aluminio en el rango de turbidez aplicado. Se llegó a la conclusión de que ambos coagulantes aplicados demostraron un rendimiento prometedor en la eliminación de turbidez del agua; sin embargo, el policloruro de aluminio mostró un mejor rendimiento en comparación con el polialuminio férrico.

Asyura et al. (2022) desarrollaron el artículo científico “La evaluación de la eficiencia del cloruro de polialuminio (PAC) en el proceso de la planta de tratamiento de agua: un estudio de caso en la planta de tratamiento de agua Sultan Iskandar, Johor”, publicado en la Revista de Ingeniería Civil y Tecnología Sostenible, vol. 1, núm. 2, pp. 8-16. Se determinó el desempeño del coagulante cloruro de polialuminio en el proceso de coagulación-floculación de la planta de tratamiento de agua. El estudio fue experimental. Los resultados mostraron que el cloruro de polialuminio es más eficiente con un 83,74% en comparación con el sulfato de aluminio, que tiene una tasa de eficiencia del 83,35%. se concluye que el cloruro de polialuminio tiene mejor rendimiento y es más eficiente en comparación con el sulfato de aluminio debido a su mejor rendimiento de coagulación.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Medina (2021) ejecutó la tesis “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”, presentada a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, para lograr el grado de Ingeniero Químico. El objetivo del estudio fue reducir la turbiedad del agua de procesos para una planta piloto de floculación mediante la evaluación de coagulantes Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio Tipo A. La metodología del estudio tuvo un diseño de tipo experimental; la muestra considerada fue de 144 litros de agua y se aplicaron 6 distintos tipos de dosis para cada coagulante. Los resultados

mostraron que con una dosis de 60 ppm el sulfato de aluminio tipo A redujo la turbidez a 23.6 UNT; con una dosis de 50 ppm de policloruro de aluminio la turbidez se redujo 23.5 UNT; con un costo mensual de 2250.00 soles el sulfato de aluminio tipo A fue opción más recomendada. Se llegó a la conclusión de que el sulfato de aluminio tipo A tuvo una mejor efectividad al reducir la turbidez y es más económico.

Asenjo (2020) elaboró la tesis “Remoción de sustancias húmicas de las aguas del rio Nanay (Loreto) empleando el policloruro de aluminio como coagulante alternativo”, presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería, para lograr el grado de Magister en Ciencias con mención en Tratamiento de Aguas y Reúso de Desechos. Tuvo como finalidad hallar las adecuadas condiciones que permite la remoción de las sustancias húmicas de un rio, a través de la aplicación del coagulante PAC. Para ello, se contrastó la eficacia de la remoción del color y turbidez en el tratamiento usando PAC y sulfato d aluminio. En ese sentido, se recurrió a la prueba de jarras para valorar los efectos de la dosis de cada coagulante en el pH y agitación del agua. Se aseveró la efectividad de dicho tratamiento, pues se halló que una dosis de 11 mg/L de PAC consigue remover la turbidez al 92.1% y el color a 82.2%. en cambio, unas dosis de 14 mg/L de sulfato de aluminio redujo la turbidez en 68.6% y el color en 58.2%. Y, al valorar los costos económicos, se identificó que el de menor costo es el sulfato de aluminio.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 EL AGUA

Según el Diccionario de la Real Academia española (RAE, 2014), es un componente liquido formado por dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, es insípido, inoloro e incoloro en pequeña cantidad y en grandes es de color verdoso, que refracta la luz, muchas manchas las disuelve, en el frío se solidifica, en el calor se evapora, forma la lluvia, los mares, los ríos y manantiales.

Para García et al. (1998) está compuesto con únicas características, es abundante en el ambiente y fijador en los procesos biológicos, químicos y físicos que administran el medio ambiente, su

fórmula química es H_2O , cuando se encuentra en estado líquido no tiene color ni olor.

El agua para Avellaneda et al. (2011) es un agregado químico firme desarrollado por la unión de dos elementos: Oxígeno (O) e Hidrógeno (H), en condiciones normales el agua es inolora, insípida e incolora.

2.2.1.1 AGUA POTABLE

Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2004) es para consumo y es un recurso necesario para los seres humanos ya que permite la sobrevivencia día a día, ésta es la única apta para que los seres humanos lo consuman, por lo que no debe ser un peligro para la salud y debe estar independiente de sustancias tóxicas y microorganismos. Las peculiaridades del agua potable son muy particulares, según la Fundación del agua (2021) esta debe ser:

- Tiene que ser segura y limpia, para consumir y usar en la elaboración de provisiones.
- Tiene que ser incolora, transparente y en ocasiones por el cloro puede ser blanquecina.
- Tiene que ser inodora, ya que en su estructura nada puede generar olor en ella.
- Tiene que ser insípida, ya que no tiene sabor, y en caso lo tuviera se debe a que algún componente en su estructura lo está generando.
- No debe tener presencia de elementos de suspensión, debido a que no debe presentar turbiedad a excepción de que la presión por las tuberías lo genere y en casos como este debe esfumarse en un lapso transitorio de tiempo.
- Debe estar independiente de contaminantes radioactivos, inorgánicos y orgánicos.
- Tiene que mantener una determinada proporción de sales inorgánicas disueltas y gases.
- No debe contener microorganismos patógenos.

2.2.1.2 IMPORTANCIA DEL AGUA POTABLE

Contar con agua bebible es trascendental, ya que permite desarrollar una vida sana y productiva. Se sabe que, por año, un estimado de 900 millones de sujetos desarrollan enfermedades diarreicas por ingerir agua contaminada y alrededor de 2 millones llegan a morir por enfermedad por la falta. No obstante, se debe precisar que dichas situaciones se suelen presentar en países con ingresos bajos y en dónde no se trata el agua de forma pertinente para optimizar la calidad de vida y salud de las personas. Ya que, al tener una buena disposición de este recurso, se logra mejorar la calidad de vida y el aspecto de la salud. En la economía, el hecho de tener acceso a agua potable es un indicador importante, ya que, si se cuenta con ello, se hace mucho más sencillo el desarrollo de las actividades cotidianas con seguridad (SUNASS, 2004).

2.2.1.3 MARCO LEGAL

D.1. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano

Las cuantificaciones sobre la calidad que evidencia el agua bebible, se hallan enmarcada en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, que fue aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, el cual dictamina los límites máximos de los componentes permitidos para que el agua denote ser óptimo para el consumo humano (DIGESA, 2010).

Tabla 1

Límites Máximos Permisibles (LMP) del Decreto Supremo N.º 031-2010-SA

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permisible (LMP)
Turbidez	NTU	≤ 5
pH	Unidades	6.5 - 8.5
Aluminio	mg/L	≤ 0.2
Coliformes Totales	NMP/100 mL	≤ 0
Hierro Total	mg/L	≤ 0.3
Cloro Residual	mg/L	0.5 - 1.5
Arsénico	mg/L	≤ 0.01
Nitratos	mg/L	≤ 50

Mercurio	mg/L	≤ 0.001
Plomo	mg/L	≤ 0.01
Cadmio	mg/L	≤ 0.003
Cromo Total	mg/L	≤ 0.05
Zinc	mg/L	≤ 3
Sólidos Totales	mg/L	≤ 500
Disueltos		
Color	UCV	≤ 15
Olor	-	Sin olor perceptible
Sabor	-	Sin sabor perceptible

Nota. Sacado del Decreto Supremo N.º 031-2010-SA los cuales son los Límites Máximos Permisibles (LMP)

D.2. Estándares de Calidad Ambiental para Agua

El 31 de julio de 2008 se verificó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, teniendo como finalidad nivelar el grado de los componentes y la concentración biológica, ya que dichos niveles no deben evidenciar ser un riesgo (MINAM, 2017).

Tabla 2

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Potable

Parámetro	Unidad	ECA para Agua Potable
Turbidez	NTU	≤ 5
pH	Unidades	6.5 - 8.5
Color	UCV	≤ 15
Cloro Residual	mg/L	0.5 - 1.5
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	≤ 0
Coliformes Totales	NMP/100 mL	≤ 0
Aluminio	mg/L	≤ 0.2
Hierro	mg/L	≤ 0.3
Arsénico	mg/L	≤ 0.01
Plomo	mg/L	≤ 0.01
Mercurio	mg/L	≤ 0.001
Nitratos	mg/L	≤ 50
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	≤ 500
Fosfatos	mg/L	≤ 0.5
Zinc	mg/L	≤ 3

Sulfatos	mg/L	≤ 250
Cloruros	mg/L	≤ 250
Cromo Total	mg/L	≤ 0.05
Cadmio	mg/L	≤ 0.003

Nota. Sacado de los estándares dados por el ECA

2.2.2 PROCESO DE POTABILIZACIÓN

Una de las peculiaridades del agua bebible es que para ser considerada como tal debe pasar por un proceso específico, esta consta de diversos procedimientos denominado en la potabilidad que se llevan a cabo en las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP en adelante) y según la Fundación del Agua (2021) esta consta de las siguientes fases:

- Captación del agua: se desarrolla en fuentes naturales y permite la recolección del agua a través de electrobombas y al transportar se filtra de los objetos sólidos.
- Coagulación/floculación: permite la erradicación de algas y otros elementos, no obstante, los insumos que se emplean suelen originar olor y sabor en el agua.
- Sedimentación: permite la erradicación de flóculos, según la gravedad que denota.
- Filtración: se hace uso de un filtro poroso para reducir los quistes de parásitos y la cantidad de turbiedad.

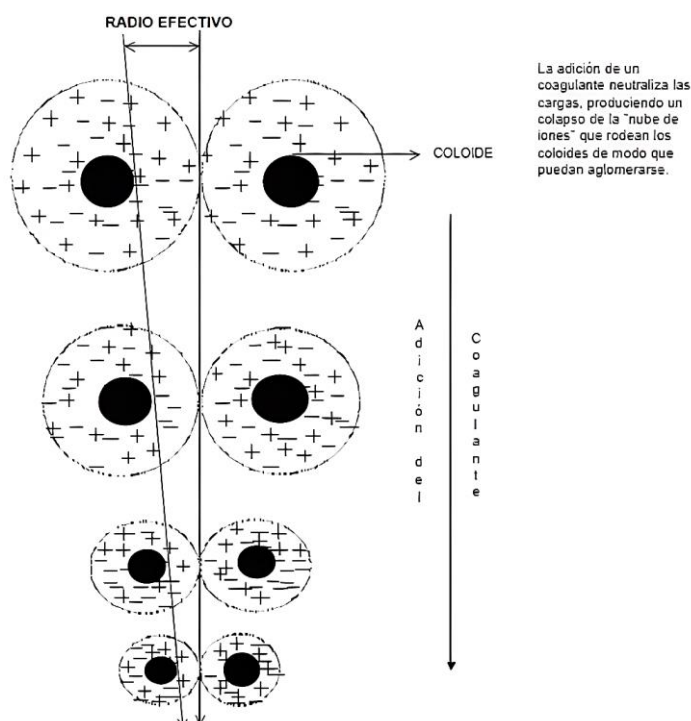
2.2.2.1 COAGULACIÓN

Proceso de química desestabilización de las coloidales partículas que se generan al neutralizar las fuerzas que los tienen separados, cuando se añaden los coagulantes químicos y cuando se aplica energía de mezclado. Se muestra en la figura 1 la manera en la que las sustancias químicas invalidan las cargas eléctricas de la superficie del coloide haciendo posible que las partículas coloidales se acumulen creando folículos. Uno de los tratamientos más efectivos es la coagulación, sin embargo, tiene un elevado gasto cuando este

no se realiza de la forma correcta. De la misma manera al igual que el método universal permite eliminar la mayor cantidad de sustancias de naturalezas distintas y de peso de materia que se eliminan con un costo menor, comparado con otros métodos (Andía, 2000).

Figura 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Potable



Nota. Tomado de Tratamiento de agua, coagulación y floculación, elaborado por Yolanda Andía en el 2000, Lima.

2.2.2.1.1 MECANISMO DE LA COAGULACIÓN

• Compresión de la doble capa

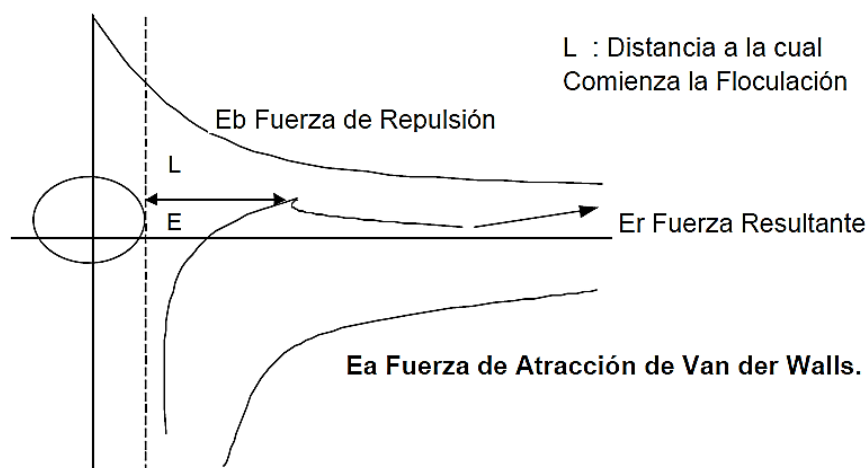
Cuando dos semejantes partículas se aproximan, sus difusas capas interactúan y se produce una fuerza de repulsión, la fuerza de repulsión se encuentra en función de la distancia que los separa y rápidamente cae con el aumento de iones de carga opuesta al de las partículas, sólo se consigue esto con los iones del coagulante, como se evidencia en la figura 2. Por otro lado, hay una fuerza de atracción

o

potencial de atracción (E_a), entre las partículas denominadas fuerzas de Van der Waals, que tienden a depender de los átomos que componen las partículas y la densidad de estos. Las fuerzas de repulsión a diferencia de las fuerzas de Van der Waals no se encuentran afectados por las características de la solución (Andía, 2000).

Figura 2

Fuerzas de atracción y repulsión



Nota. Tomado de Tratamiento de agua, coagulación y floculación, elaborado por Yolanda Andía en el 2000, Lima.

- **Adsorción y neutralización de cargas**

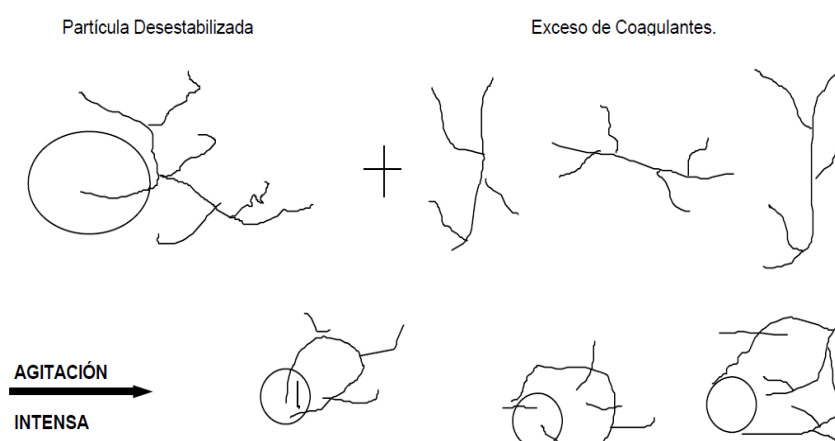
Las partículas coloidales tienen en su superficie una carga negativa, estas cargas denominadas primarias tienen los iones positivos que están en la solución dentro del agua y tienen adherida al coloide la primera capa. El potencial electrocinético potencial ZETA es el potencial en la superficie del plano de cizallamiento, este potencial rige que los coloides se desplacen y su mutua interacción (Andía, 2000).

Luego de la teoría de doble capa de coagulación se considera como se anula del potencial conseguido por añadir productos de coagulación – floculación, en donde la natural fuerza de mezcla por el movimiento browniano no basta requiriéndose una complementaria energía: por ejemplo, hacer la agitación hidráulica o mecánica. Cuando se añade un

exceso de coagulante al tratar el agua, se genera la reestabilización de la carga de la partícula; esto explica porque se absorbe en la superficie de la partícula, generando una carga invertida a la original, como se evidencia en la figura 3. (Andía, 2000).

Figura 3

Reestabilización de partículas



Nota. Tomado de Tratamiento de agua, coagulación y floculación, elaborado por Yolanda Andía en el 2000, Lima.

• **Atrapamiento de partículas en un precipitado**

Las desestabilizadas partículas coloidales, pueden ser atrapadas en un floc, cuando se añade una suficiente cantidad de coagulantes, comúnmente sales de metales trivalentes tales como el Cloruro Férrico $[\text{FeCl}_3]$ o el Sulfato de Aluminio $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$, el floc se encuentra formado de moléculas de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ o $\text{Al}(\text{OH})_3$. La presencia de las partículas coloidales y algunos aniones incrementan que se forme el precipitado. Las partículas coloidales tienen el rol de anillo cuando se está formando el floc; este fenómeno tiene una inversa relación entre la turbiedad y la cantidad que se requiere de coagulante. Se puede decir, que una importante concentración de partículas en suspensión se puede necesitar una cantidad menor de coagulante (Andía, 2000).

- **Adsorción y puente**

En cualquier situación, se consigue el más económico tratamiento usando un polímero aniónico, cuando las partículas se encuentran negativamente cargadas. Se explica este fenómeno mediante la teoría del puente. Las más largas moléculas de polímero tienen grupos químicos que es posible que absorban las partículas coloidales. La molécula de polímero puede absorber en una de extremidades una partícula coloidal, pero es libre en los otros sitios para absorber otras partículas. Es por eso que se dice que las formaciones del puente entre las partículas coloidales son formadas por las moléculas de los polímeros. Esto puede poseer una reestabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Andía, 2000).

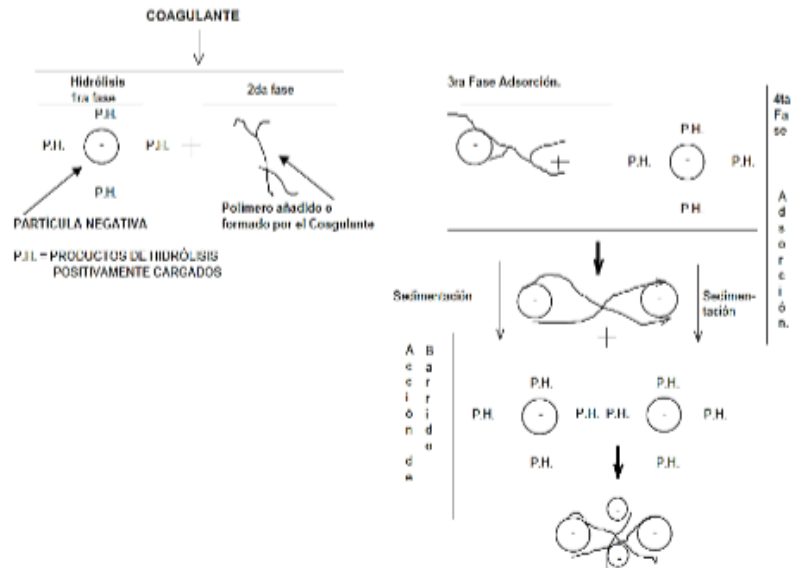
2.2.2.1.2 FASES DE LA COAGULACIÓN

El proceso de coagulación se hace en un muy corto tiempo (prácticamente instantáneo), en donde se presentan las etapas siguientes, como se evidencia en la figura 4.

- Acción de barrido.
- Mutua adsorción de coloides.
- Adsorción de poliméricas cadenas por los coloides.
- Formación de químicos compuestos poliméricos.
- Hidrólisis de los coagulantes.
- Desestabilización de las partículas en suspensión.

Figura 4

Fases de la coagulación



Nota. Tomado de Tratamiento de agua, coagulación y floculación, elaborado por Yolanda Andía en el 2000, Lima.

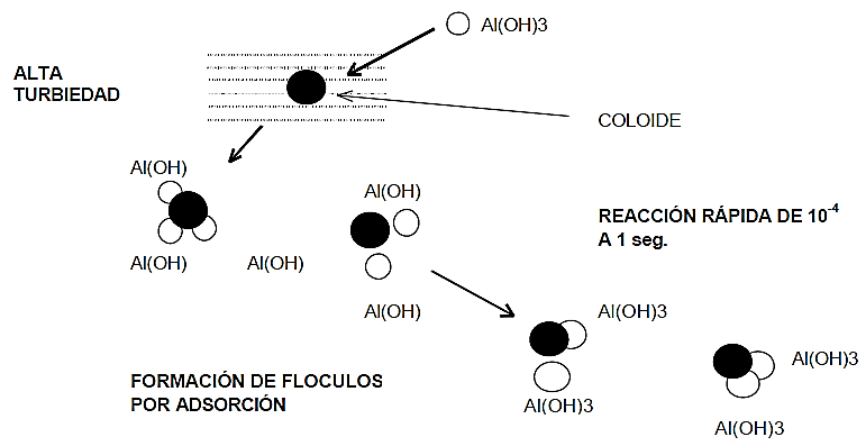
2.2.2.1.3 TIPOS DE COAGULACIÓN

De acuerdo con Andía (2000) existen dos básicos tipos de coagulación: mediante adsorción y barrido.

Coagulación Por Adsorción: Sucede en situaciones en donde el agua tiene una concentración alta de partículas al estado coloidal; cuando se adiciona al agua turbia el coagulante los solubles productos de los coagulantes son absorbidos por los coloides y de manera casi instantánea forman los flóculos, un ejemplo de este se muestra en la Figura 5. (Andía, 2000).

Figura 5

Coagulación por adsorción

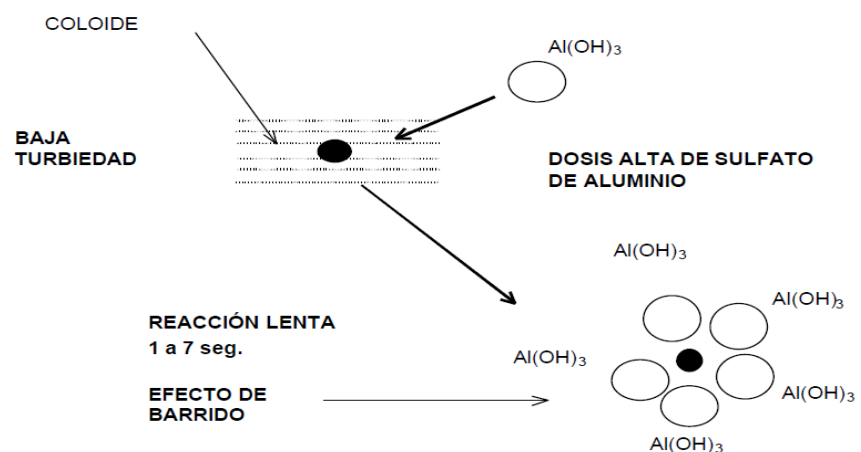


Nota. Tomado de Tratamiento de agua, coagulación y floculación, elaborado por Yolanda Andía en el 2000, Lima.

Coagulación por Barrido: Este sucede en situaciones en donde el agua es clara (tiene turbiedad baja) y es pequeña la cantidad de partículas coloides; en estas situaciones las partículas son entrampadas al generarse una sobresaturación de precipitado de cloruro férrico o sulfato de aluminio, un ejemplo de este se muestra en la Figura 6. (Andía, 2000).

Figura 6

Coagulación por barrido



Nota. Tomado de Tratamiento de agua, coagulación y floculación, elaborado por Yolanda Andía en el 2000, Lima.

2.2.2.1.4 COAGULANTES UTILIZADOS

Son productos químicos que cuando se añaden al agua tienen la capacidad de genera una reacción química con los componentes químicos del agua, específicamente con la alcalinidad del agua para generar un voluminoso precipitado, demasiado absorbente, generalmente formado por el hidróxido metálico del coagulante que se encuentra usando. De acuerdo con Andía (2000) los coagulantes principales usados para desestabilizar las partículas y generar el floc son:

- a) Polielectrolitos
- b) Sulfato Ferroso
- c) Sulfato Férrico
- d) Cloruro Férrico
- e) Cloruro de Aluminio
- f) Aluminato de Sodio
- g) Sulfato de Aluminio

Las más usadas son las sales de Hierro y Aluminio; cuando se añaden estas sales al agua se generan una serie muy complejas de reacciones en donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los mismos iones; estas sales suelen reaccionar con la alcalinidad del agua y generan los hidróxidos de hierro o aluminio que son insolubles y generan los precipitados (Andía, 2000).

Alcalinidad: Es un método de análisis, mediante el cual se establece el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}); bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxido de un agua tratada o natural. La alcalinidad posee una relación con el pH del agua (Andía, 2000).

2.2.2.2 FLOCULACIÓN

2.2.2.2.1 OBJETIVO DE LA FLOCULACIÓN

Durante la segunda etapa de la mezcla, esta corresponde a una lenta mezcla que tiene por propósito hace que los contactos entre lo flóculos, el color y la turbiedad, la

mezcla tiene que ser lo suficiente para generar diferencias de velocidad del agua en la unidad, pero no muy grande, debido a que los flóculos tienen el riesgo de romperse; a pesar de que no sea óptimo el tiempo de floculación (Andía, 2000).

2.2.2.2.2 DEFINICIÓN

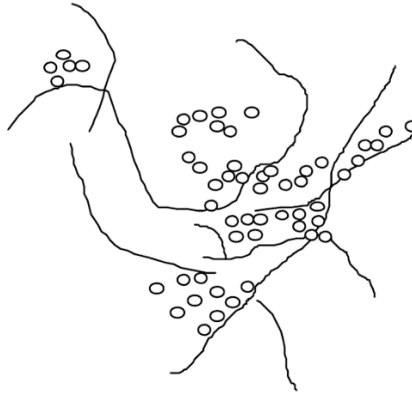
Es el proceso que continua en el proceso de la coagulación, consiste en agitar la coagulada masa que permite que los flóculos formados recientemente crezcan y se aglomeren con el fin de incrementar su peso y tamaño que es necesario para poder sedimentar fácilmente. Inicialmente estos flóculos pequeños, se origina al juntarse mayores aglomerados que tienen la capacidad de sedimentar (Andía, 2000).

Ocurre que los formados flóculos por la aglomeración de diversos coloides no son tan grandes como para que sedimenten con la deseada rapidez, por lo que no es necesario usar un floculante para reunir en manera de red, formando en las superficies puentes al enlazar las individuales partículas en aglomerados, como se muestra en la figura 7. (Andía, 2000).

La floculación se ve favorecida mediante un lento mezclado que hace posible poco a poco juntar los flóculos; una muy intensa mezcla los rompe y se vuelven a formar raramente en su fuerza y tamaños óptimos. La floculación no incrementa solamente el tamaño de las partículas del flóculo, ya que también incrementa su peso. La floculación puede mejorar mediante una adición a un ayudante de floculación o reactivo de floculación (Andía, 2000).

Figura 7

Floculación



Nota. Tomado de Tratamiento de agua, coagulación y floculación, elaborado por Yolanda Andía en el 2000, Lima.

2.2.2.2.3 TIPOS DE FLOCULACIÓN

De acuerdo con Andía (2000) existen 2 tipos de floculación:

- **Floculación ortocinética:** Se fundamenta en las colisiones de las partículas por el movimiento del agua, este es inducido una exterior energía a la masa de agua y que puede surgir por causas hidráulicas o mecánicas (Andía, 2000).
- **Floculación pericinética:** Se genera por el natural movimiento de las moléculas del agua y se encuentra inducido mediante energía térmica, se conoce este movimiento como movimiento browniano (Andía, 2000).

Luego de que se coagula el agua se necesita que se genera la aglomeración de los microflóculos; para que suceda esto se debe generar la floculación pericinética y posteriormente se genera la floculación ortocinética (Andía, 2000).

2.2.2.2.4 ÍNDICE DE WILLCOMB

El índice se genera por una subjetiva observación de la manera en la que se desarrolla el floc en cada jarra, su

propósito es hacer posible la descripción de la cantidad formada de floc durante los procesos de floculación. Este se hace escogiendo la jarra (test de jarras) que generan el floc con las características mejores de tamaño, velocidad mayor de asentamiento de turbiedad y color aparente. Considerando las referencias de las presentes características que se muestran en la **tabla 3**. en donde no es posible definir la forma en la que un buen floc es aquel que se encuentra formado adecuadamente, con relativo tamaño grande, que fácilmente se deposita, pero no se complementa. Las visuales observaciones de estos tipos son cualitativas y en gran medida dependen del criterio del individuo que realiza los ensayos (Arboleda, 2000).

Tabla 3

Índice de floculación de Willcomb

Número de Índice	Descripción
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero completamente.
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
4	Disperso. Floc bien formado pero imperceptible para un observador no entrenado.
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación.

Nota. Tomado de Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 1, elaborado por Jorge Arboleda en el 2000, Bogotá.

2.2.2.3 SEDIMENTACIÓN

Proceso físico a través del cual las partículas en suspensión que se encuentra presente en el agua son separadas o removidas del fluido, mediante el efecto gravedad. Estas partículas tienden a

ser más densas que el agua, y se conseguirá un clarificado fluido y una más concentrada suspensión (Chulluncuy, 2011).

La remoción de las partículas se puede hacer al dejar sedimentar el agua, ejecutando o filtrándola en ambos procesos de forma consecutiva, por ello los procesos se consideran complementarios. Para Chulluncuy (2011) los factores que influyen en la sedimentación son:

- Previos procesos a la sedimentación.
- Las condiciones hidráulicas.
- La calidad del agua (temperatura del agua, variación de la concentración de materias suspendidas).

Si depende del tipo de partícula que se remueve en cada unidad, de acuerdo con Chulluncuy (2011) por lo sedimentadores, estas se clasifican en:

- **Decantadores laminares:** Aquellos cuya eficiencia disminuye a medida que se incrementa en las celdas la superficial carga, depende también de las características del agua tratada y del diseño del sedimentador (Chulluncuy, 2011).
 - Decantadores laminares de flujo horizontal: Planas láminas inclinadas paralelas (ángulo de 5°) para conseguir la adecuada pendiente que haga más fácil el escurrimiento de los flóculos (Chulluncuy, 2011).
 - Decantadores laminares de flujo inclinado: Con módulos situados en un ángulo de 60°. Este sistema hace más fácil la decantación de sólidos, para disminuir el recorrido de la deposición de sólidas partículas e inducir a que sea laminar el flujo del agua (Chulluncuy, 2011).
- **Decantadores dinámicos:** Necesitan una concentración a la de las partículas para poder aumentar las posibilidades de contacto mediante un manto de lodos, con una concentración de partículas de 10 a 20% en volumen. Según Chulluncuy (2011) se tienen los siguientes tipos:

- Unidades de manto de lodos con suspensión mecánica: Puede ser vacío, pulsante, de separación y agitación.
- Unidades de manto de lodos con suspensión hidráulica: La ventaja es que no tienen, de forma general, ninguna removible pieza en el tanque, ni para funcionar necesitan energía eléctrica; de la misma manera, se necesita evitar en la entrada del agua turbulencia, ya que esto perjudica al manto de lodos.
- **Sedimentadores o decantadores estáticos:** Unidades en las que normalmente se genera la sedimentación con caída libre. Según Chulluncuy (2011) se tienen los siguientes tipos:
 - Unidades de flujo helicoidal: Se usan para tratar aguas con contenido alto de flóculos y que tienen una velocidad alta de sedimentación.
 - Unidades de flujo vertical: Son unidades que tienen forma cilíndrica.
 - Unidades de flujo horizontal: Pueden ser sedimentadores que tienen forma cuadrada, circular o rectangular. La remoción de los lodos se tiene que realizar de manera intermitente o continua.
 - Desarenadores: Busca reducir la arena del agua cruda, impidiendo que interfieran las partículas en la operación de las bombas.

2.2.2.4 FILTRACIÓN

Proceso mediante el cual se separan las partículas y cantidades pequeñas de microorganismos (virus, bacterias) mediante un poroso medio. Es la fase encargada de hacer que los estándares de calidad para el agua potable se cumplan. Desde una perspectiva bacteriológica, los filtros son eficientes para remover aproximadamente el 99% (Chulluncuy, 2011).

El tamaño de las partículas que se encuentran retenidas en menor o mayor proporción en granos del filtrante lecho cambia desde inferiores bacterias y virus a 10-3 mm, flóculos de 1mm hasta coloides. Cuando el floc tiene un mayor volumen que el de los poros

del filtrante lecho se queda retenido por cernido en los intersticios del lecho; pero, si hay bacterias que tienen un tamaño inferior que los poros estas deben quedar removidas mediante unos fenómenos (Chulluncuy, 2011).

Según Chulluncuy (2011), en la filtración se generan las siguientes complementarias etapas:

- Adherencia a los granos del medio: Fenómeno de superficial acción, que está influenciado por parámetros químicos y físicos. Los mecanismos que hacen posible hacer adherencia son: puente químico, fuerzas electroquímicas y fuerzas de Van der Waals (Chulluncuy, 2011).
- Transporte de las partículas en los poros: Fenómeno hidráulico y físico, se encuentra influenciado por parámetros que rigen la transferencia de masas. Los mecanismos que permiten hacer transporte son: acción hidrodinámica, impacto inercial, difusión, interceptación, sedimentación, cernido (Chulluncuy, 2011).

Según Chulluncuy (2011), las unidades de filtración se clasifican considerando los siguientes parámetros:

- Manera de control operacional: Variable nivel, constante tasa, y declinante casa (Chulluncuy, 2011).
- Manera de aplicar la carga agua en el lecho: A presión y a gravedad (Chulluncuy, 2011).
- Sentido del flujo: Ascendente-descendente, ascendente y descendente (Chulluncuy, 2011).
- Lecho filtrante: Lechos múltiples, lechos dobles y simple (antracita o arena) (Chulluncuy, 2011).

De acuerdo con Chulluncuy (2011) los factores que influyen en la filtración son:

- Características hidráulicas: Calidad del efluente, método de control de los filtros, carga hidráulica disponible para filtración y tasa de filtración (Chulluncuy, 2011).
- Características del medio filtrante: Espesor de la filtrante capa, específico peso del material filtrante, granulometría y tipo (Chulluncuy, 2011).

- Características de la suspensión: Concentración de suspendidas partículas en el efluente, temperatura del agua por filtrar, resistencia o dureza de las suspendidas partículas (flóculos), densidad, tamaño y tipo (Chulluncuy, 2011).

En la filtración, los granos del filtrante medio retienen las partículas hasta conseguir obstruir el paso del flujo, por ello se necesitan periódicos lavados. La turbiedad del agua filtrada no tiene que ser superior de una NTU, con un inferior color a 5 UCV (Chulluncuy, 2011).

La figura 8. muestra que la declinante tasa, descendiente flujo, filtro de gravedad con lecho de arena. El lavado de este filtro de arena se hace impidiendo el ingreso del agua a este, de forma simultánea se abre la compuerta de lavado de manera que al reducir de manera brusca el nivel del agua en el filtro, el agua filtrada contenida en los laterales canales invierte su patrón de flujo porque tiene un nivel mayor, haciendo así el retro lavado que agita el lecho de arena y reduce las partículas mediante el canal de lavado. Al terminar el retro lavado se cierra la compuerta de lavado y abre la compuerta de ingreso para continuar el proceso de filtrado (Chulluncuy, 2011).

Figura 8

Filtros de gravedad



Nota. Tomado de Tratamiento de agua para consumo humano, elaborado por Nadia Chulluncuy, en el 2011.

2.2.2.5 DESINFECCIÓN

Último proceso de tratamiento del agua que busca una selectiva destrucción de los potencialmente infecciosos organismos. Esto conlleva a que no todos los patógenos organismos sean eliminados durante el proceso, por lo que se necesitan previos procesos como la coagulación, sedimentación y filtración para poder eliminarlo (Chulluncuy, 2011).

Según Chulluncuy (2011) los factores que influyen en la desinfección son:

- Tiempo de contacto
- pH del agua
- La calidad y naturaleza del agua
- Temperatura del agua
- Concentración y naturaleza del agente que desinfecta
- Los presentes microorganismos y su comportamiento

Se mide la efectividad de la desinfección mediante el prefijado pH, la temperatura y el porcentaje de organismos que mueren en

un tiempo determinado. Cambia la resistencia de estos microorganismos, siendo más resistentes las esporas bacterianas, continua en resistencia los quistes de entéricos virus, protozoarios y finalmente las vegetativas bacterias (Chulluncuy, 2011).

La presencia de sólidos disminuye la eficacia de la desinfección causado por los asociados organismos a estos sólidos pueden protegerse mediante la acción del desinfectante agente químico o físico. Los más importantes agentes químicos son los iones metálicos, el agua oxigenada, el permanganato de potasio, el ozono, el yodo, el bromo y el cloro. Los más usados agentes físicos son los rayos ultravioletas, la luz, el calor, los sistemas de filtración, sedimentación y coagulación-floculación (Chulluncuy, 2011).

El cloro es el más importante agente desinfectante; puede ser usado en forma de sal (hipoclorito de sodio), de líquido, de gas. Es de costo bajo, sencillo manejo y aplicación fácil. En adecuadas dosis no se generan riesgos ni para los animales, ni para el hombre. Su residual efecto protege el agua de contaminarse en las redes de distribución. Es primordial considerar precauciones al uso cloro, causado por la formación de trihalometanos, estos son considerados peligrosos de manera potencial (Chulluncuy, 2011).

2.2.3 COAGULANTES

2.2.3.1 SULFATO DE ALUMINIO

Suele tener forma líquida o sólida. La sólida tiene polvo, gránulos de distinto tamaño, compactas placas. Su teórica fórmula es $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$. Generalmente se define su concentración por el contenido de la alúmina, que se encuentra expresada en Al_2O_3 , aproximadamente el 17%. El sulfato de aluminio en polvo tiene una densidad aparente de 1.000 kg/m³. El contenido en alúmina en su manera líquida generalmente fluctúa entre 8 y 8.5%; es decir del 48 al 49% en polvo equivalente o también 630 a 650 g de sulfato de aluminio por litro de acuosa solución (Andía, 2000).

El sulfato de aluminio es una sal derivada de un fuerte ácido (ácido sulfúrico), y de débil base (hidróxido de aluminio), por lo que

sus acuosas soluciones son muy ácidas; de acuerdo con la relación molecular sulfato/alúmina varía el pH entre 2 y 3.8. Por ello su almacenamiento tiene que estar en un lugar libre de humedad, es decir seco. Se necesita considerar esta ácida tendencia para preparar los empaques y las soluciones para su distribución y usar generalmente materiales de plástico (Andía, 2000).

ESPECIFICACIONES:

En la tabla 4. se muestran las especificaciones del Sulfato de Aluminio.

Tabla 4

Especificaciones del Sulfato de Aluminio

Parámetros	Especificación
Nombre comercial	Sulfato de Aluminio Granulado Tipo A Pantera
Densidad, g/mL	0.94 – 0.98
Temperatura de Ebullición	No Aplica
Olor	Característico
Apariencia	Cristales color blanco
Fórmula química	594.14 g/mol
Estado físico	Blanco
Características fisicoquímicas	
Malla 10 (2.00 mm)	Mín. 90
% Pasante	
Malla 6 (3.35 mm)	Mín. 100
% Pasante	
Insolubles %	Máx. 0.20
Hierro Total	Máx. 0.05
Soluble, Fe₂O₃ %	
Basicidad, Al₂O₃ %	Máx. 0.60
Aluminio Total	Mín. 17.0
Soluble, Al₂O₃ %	
Composición química	
Sulfato de Aluminio (%)	57.0

Nota. Tomado de Sulfato de Aluminio Granulado Tipo A Pantera, elaborado por Aris.

2.2.3.2 CLORURO DE POLIALUMINIO

El Cloruro de Polialuminio (PAC), es generalmente denominado como coagulante o purificador de agua, es un inorgánico polímero soluble en agua entre $Al(OH)_3$ y $AlCl_3$. Su fórmula química general es $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$. n es la neutralidad del producto PAC y m es el grado de polimerización (Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies, 2023).

Tiene un color marrón oscuro, amarillo claro, amarillo y resinoso sólido gris oscuro. El PAC tiene un rendimiento fuerte de adsorción puente. En el proceso de hidrólisis, suceden procesos químicos y físicos como precipitación, adsorción y condensación. La fundamental diferencia entre los tradicionales coagulantes inorgánicos y el cloruro de polialuminio es que los tradicionales coagulantes inorgánicos son cristalinas sales de bajo peso molecular, pero la estructura del PAC está compuesta de complejos de carboxilo de elementos múltiples con variable morfología, la precipitación es rápida y la velocidad de floculación, adecuada gama amplia de valor de pH, no es corrosivo para el equipo de tubería, tiene un obvio efecto de purificación de agua, efectivamente elimina la calidad del color, mercurio, arsénico, DBO, DQO, SS y otros iones de pesados metales en el agua. Este producto es usado ampliamente en el tratamiento de aguas residuales, agua industrial y agua potable (Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies, 2023).

Puede ser peligroso el consumo del PAC, ya que es corrosiva, cuando entra en contacto con la piel, es ingerido o inhalado puede generar una lesión. Según el PAC 30% MSDS y PAC 28% MSDS, la inhalación puede generar en las membranas mucosas la irritación. Puede generar hinchazón en los ojos y la piel y el enrojecimiento. Así mismo, su ingesta puede generar irritación en el estómago y la boca. Se tiene que considerar el almacenamiento y la adecuada eliminación del PAC para reducir adversos efectos (Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies, 2023).

Dosis inferior de PAC que el sulfato de aluminio, y es más bajo el costo de tratamiento del agua que otros inorgánicos floculantes. De la misma manera esta también puede generar rápida formación de flóculos, rápida precipitación y gran formación de flóculos. Su capacidad de tratamiento es de 1.3 a 3 veces más que otros inorgánicos floculantes. Tiene una gama amplia de adaptabilidad para las fuentes de agua de distintas temperaturas y una solubilidad adecuada. Es corrosivo ligeramente y para la operación es fácil de manejar, y es correcto para una automática dosificación. Y no bloquea durante mucho tiempo las tuberías (Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies, 2023).

Según Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies (2023) otros usos del policloruro de aluminio son:

- Se emplea en la industria del gas y petróleo a causa de sus inestables propiedades de emulsión de aceite y agua, y su eficiencia de separación de fases.
- Usado en el cuidado personal, para antitranspirantes en las industrias cosméticas y desodorantes.
- Usado como coagulante en la industrial de la pulpa y el papel.
- Usado en procesos de floculación para tratar aguas residuales.
- Usado en el tratamiento de agua potable por su efecto alto antimicrobiano.

ESPECIFICACIONES:

Tabla 5

Especificaciones del Cloruro de Polialuminio

Ítems		
Características	Toxicidad	No-tóxico
	Solubilidad	Fácilmente soluble
	Apariencia	Polvo Amarillo claro
Usos	Se aplica principalmente para tratamiento de agua potable.	
(Cr+6)/%	≥ 0.0005.	
(Hg)/%	≥ 0.00001	
(Cd)/%	≥ 0.0002	
(Pb)/%	≥ 0.001	

(As)/%	≥ 0.0002
Water insoluble %	≤ 0.2
PH (1% aqueous solution)	3.5 - 5.0
Basicity%	60-80
Aluminium oxide (A.1203) %	≥ 30%
Identificación	B: solución
	Color: transparente

Nota. Tomado de Ficha técnica de insumos, elaborado por Consulting Environment en el 2023.

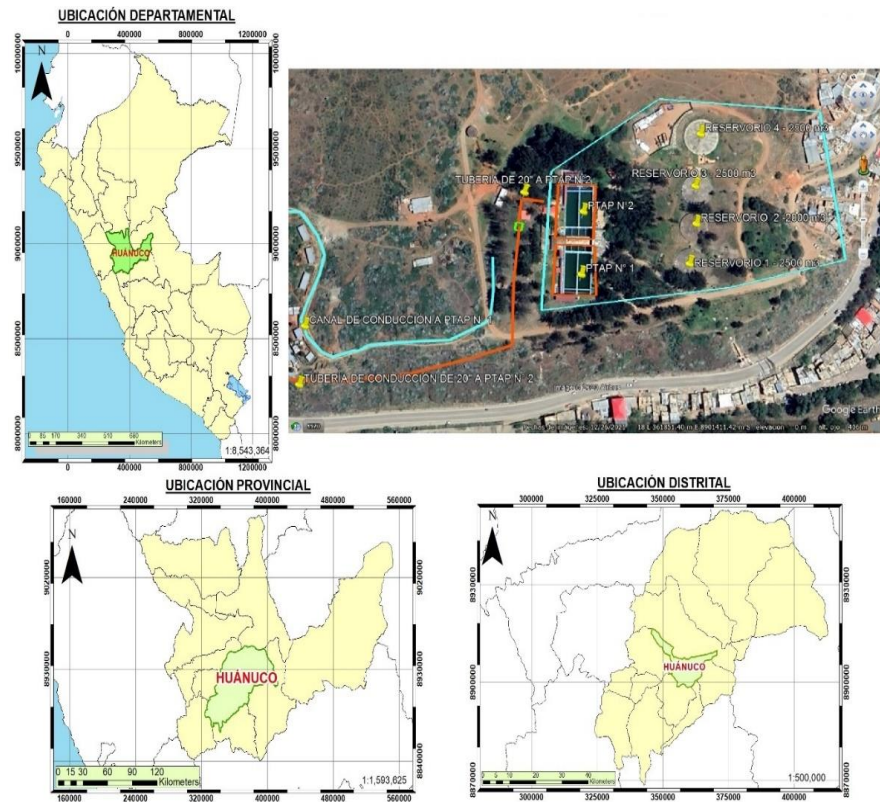
2.2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO

2.2.4.1 UBICACIÓN

La planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Huánuco se encuentra ubicada en el lugar llamado Cabrito Pampa, Distrito, Provincia y Departamento de Huánuco, en un área de aproximadamente 40 000 m² (EPS Seda Huánuco S.A., 2023), el mapa de ubicación de esta se muestra en la

Figura 9

Mapa de ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Huánuco



2.2.4.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO

En la figura 10.

Se muestra el proceso de potabilización del agua en la PTAP de la ciudad de Huánuco en donde en promedio se tratan 530 L/s, la fuente de abastecimiento de la planta es el Río Higuera (EPS Seda Huánuco S.A., 2023).

Figura 10

Sistema de tratamiento de agua potable - Huánuco



Nota. Tomado de Manual de operación, mantenimiento y control de calidad de la PTAP N° 01, elaborado por la EPS Seda Huánuco S.A., en el 2023, Huánuco.

2.2.5 TEORÍA DE JARRAS

El ensayo de jarras se verifica durante el proceso de coagulación del agua, ya que este procedimiento propicia la remoción sencilla de los sólidos que denoten ser sediméntales y poseer partículas coloidales. En este sentido, en el proceso de coagulación-floculación es imprescindible desarrollar la prueba de jarras para estimar el tipo de coagulante adecuado, la dosis de coagulante pertinente, el pH adecuado para desarrollar el tratamiento, la velocidad de agitación adecuada y el tiempo de retención necesario para asegurar una mezcla óptima en la coagulación y la existencia del buen contacto entre las partículas que se hallan en la floculación (Fúqueme & Yate, 2018).

Este ensayo se desarrolla en seis ejes giratorios, los cuales se ejecutan en la paleta en una base de cada eje. De este modo, se agita la muestra, dado que se hayan conectados a un motor eléctrico que gira de forma simultánea, pero se puede ajustar la posibilidad y el tiempo, según lo deseado. En este sentido, si se aplica de forma correcta el ensayo de jarras se lograr una valoración y contrastación oportuna de los floculantes y coagulantes; así como, alcalinizantes, oxidantes, entre

otros. Implementados al agua correcta en un contexto experimental (Fúqueme & Yate, 2018)

Esta teoría se basa en los siguientes condicionantes:

- a. Cambios de temperatura del agua. Este suele ocasionar corrientes de convección que interfieren en la sedimentación normal de flóculos (Fúqueme & Yate, 2018).
- b. Intercambio gaseoso. Aquí se forman burbujas por la agitación mecánica de las muestras, la modificación de la temperatura por las reacciones químicas, generando la flotación de flóculos (Fúqueme & Yate, 2018).
- c. El periodo transcurrido entre el ensayo y la toma de muestra. Ya que la actividad biológica del agua y reacciones físicas y químicas afectan la coagulación y floculación, luego de la sedimentación del agua y oxidación de las distintas sustancias del agua (Fúqueme & Yate, 2018).

El ensayo de jarras permite identificar la dosis adecuada para ajustar el proceso y obtener un correcto funcionamiento y rendimiento máximo (Fúqueme & Yate, 2018).

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

- Agua potable: Principal recurso usado por los seres humanos para sobrevivir día a día y posee muy particulares características (La fundación del Agua, 2021).
- Cloruro de polialuminio. Comúnmente llamado purificador de coagulante o agua, es un tipo de inorgánico polímero soluble en el agua (Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies, 2023).
- Coagulación por adsorción. Sucede cuando el agua tiene una concentración alta de partículas al estado coloidal (Andía, 2000).
- Coagulación por barrido. Sucede cuando es pequeña la cantidad de partículas coloides y el agua es clara (tiene turbiedad baja (Andía, 2000).
- Coagulación. Proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se generan al neutralizar las fuerzas que los mantienen

separados, al aplicar la energía de mezclado y mediante la adición de los coagulantes químicos (Andía, 2000).

- Estándares de calidad ambiental del agua. Determina el nivel de concentración o el grado de sustancias, elementos o parámetros biológicos, químicos y físicos presentes en el agua (MINAM, 2017).
- pH. Medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución (Andía, 2000).
- Proceso de potabilización: Conjunto de conocidos tratamientos como proceso de potabilidad que se realiza en plantas potabilizadoras de agua (La fundación del Agua, 2021).
- Sulfato de aluminio. Sal derivada de un fuerte ácido (ácido sulfúrico) y débil base (hidróxido de aluminio), por lo que sus acuosas soluciones son muy ácidas (Andía, 2000).
- Turbiedad. Manera indirecta de medir la concentración de las suspendidas partículas en un líquido (Andía, 2000).

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

Hipótesis nula (H_0): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

Hipótesis alterna (H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- **Hipótesis nula (H_0):** El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

Hipótesis alterna (H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

- **Hipótesis nula (H_0):** El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

Hipótesis alterna (H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

- **Hipótesis nula (H_0):** El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

Hipótesis alterna (H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

- **Hipótesis nula (H_0):** El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

Hipótesis alterna (H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

- **Hipótesis nula (H_0):** El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

Hipótesis alterna (H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

- **Hipótesis nula (H_0):** El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más factible económicamente que el Sulfato de Aluminio.

Hipótesis alterna (H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más factible económicamente que el Sulfato de Aluminio.

2.5 SISTEMA DE VARIABLES

2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Coagulación del agua cruda

2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Coagulantes

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 6

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Tipo de variable
Variable independiente: Coagulantes	Sulfato de aluminio	Solubilidad en el agua	g/100 cm ³ de agua	Ordinal
		Variación de concentración	Mg/l	
		Porcentaje de alúmina	%Al ₂ O ₃	
		pH	Unidad de pH	
	Cloruro de Polialuminio	Solubilidad en el agua	g/100 cm ³ de agua	Ordinal
		Variación de concentración	Mg/l	
		Porcentaje de alúmina	%Al ₂ O ₃	
		pH	Unidad de pH	
Variable dependiente: Coagulación del agua cruda	Propiedades fisicoquímicas	Turbidez (Decreto Supremo 031-2010. S.A.)	NTU	Ordinal
		pH (Decreto Supremo 031-2010. S.A.)	Unidad de pH	
		Alcalinidad (Decreto Supremo 031-2010. S.A.)	mg/L	
		Aluminio residual (Decreto Supremo 031-2010. S.A.)	mg/l	
		Índice de Willcomb	Índice de Willcomb	

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 ENFOQUE

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo. Según Hernández et al. (2014) este tipo de enfoque se concentra en desarrollar procesos a través de la lógica para denotar datos numéricos, haciendo uso de la estadística. El estudio tuvo este enfoque ya que siguió un procedimiento riguroso en donde se podrá tomar una muestra del agua de la PTAP Seda Huánuco y para poder tratarlo se aplicaron dos tipos de coagulantes para poder tratarlo.

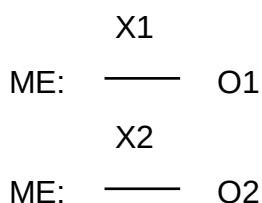
3.1.2 ALCANCE O NIVEL

La investigación fue de nivel explicativo. Según Rodríguez (2020) este nivel de investigación intenta establecer una relación causal entre las variables, describe el problema y revela las causas de esta, sin embargo, no explica porque ocurre el fenómeno, pero da una mejor comprensión. El estudio fue de este nivel porque buscó analizar el efecto que tienen los coagulantes Sulfato de aluminio y Cloruro de Polialuminio en el tratamiento de agua potable en la PTAP Seda Huánuco, 2024.

3.1.3 DISEÑO

La investigación tuvo un diseño experimental de comparación del efecto de dos coagulantes sobre la coagulación del agua cruda, Según Ramos (2021) es un enfoque estadístico que permite evaluar simultáneamente el efecto de dos o más variables (variables independientes) sobre una o más variables de respuesta (dependientes). La adopción de este diseño se debió al menester de analizar la interacción entre los coagulantes de Sulfato de Aluminio y Cloruro de Polialuminio en el procedimiento de tratamiento del agua, posibilitando la comparación de su eficiencia individualmente como también identificó las sinergias y diferencias significativas en su desempeño bajo condiciones operativas establecidas. Es así como este diseño

proporcionó respaldo para la obtención de resultados precisos y aplicables al tratamiento óptimo del agua. Se muestra el esquema de investigación del proyecto:



Dónde: ME es el grupo experimental; X1 es el coagulante Sulfato de aluminio; X2 es el coagulante Cloruro de Polialuminio; y O1 y O2 es la observación de la variable dependiente después de haberse aplicado los coagulantes. La investigación se realizó en tres etapas, las cuales son:

Etapla 1: Etapa de pre-campo

Es esta fase de inicio se hizo la búsqueda de información como tesis, artículos científicos, libros, etc., para que facilite el trabajo de campo.

Etapla 2: Campo

Es esta etapa se procedió a tomar las muestras de agua siguiendo el Protocolo Nacional Para El Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos Superficiales(ANA, 2016), la muestra fue tomada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Seda Huánuco,

La muestra del presente estudio estuvo conformada por la cantidad de agua cruda que ingresa a la PTAP de Seda Huánuco el día del tratamiento de la siguiente manera:

a) Muestreo de Agua:

- La tesista se colocó los zapatos de seguridad y los guantes descartables antes de la toma de muestra.
- Se ubicó el punto donde se tomó muestra, este debe ser de fácil acceso, donde la corriente sea homogénea y poco turbulenta.
- Se midieron los parámetros de campo directamente en el cuerpo hídrico y tomando un adecuado volumen de agua en un balde limpio, evitando realizar remoción del sedimento.

- Para medir los otros parámetros se recolectó el agua en él un recipiente con contratapa y tapa (antes de colocar la muestra, los frascos deben enjuagarse dos veces).

b) Almacenamiento, conservación y transporte de las muestras:

- Los frascos se debieron almacenar dentro de cajas térmicas (coolers) de manera vertical para que no sucedan derrames ni se expongan a la luz solar.
- Los envases de vidrio tienen que ser embalados con la precaución adecuada para evitar roturas y derrames durante el transporte.
- Las muestras deben ser transportadas inmediatamente al laboratorio, cumpliendo los tiempos de almacenamiento.

c) Materiales:

- Fichas de registro de campo
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- Frascos debidamente etiquetados
- Cajas térmicas (cooler)
- Hielo u otro refrigerante
- Bolsas de poliburbujas
- Agua destilada
- Reloj

d) Equipos:

- GPS para identificar los puntos de monitoreo
- pH – metro con función de registro de temperatura
- Cámara fotográfica

e) Indumentaria de protección:

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de látex descartables
- Casco de seguridad

- Mascarilla descartable

Luego de realizar el monitoreo de agua, en el laboratorio de procesos y control de calidad de la PTAP Seda Huánuco se realizaron las pruebas de jarras esta misma es un ejercicio de lógica en el que se deben medir cantidades específicas de agua utilizando dos o más jarras de diferentes capacidades, aplicando reglas como llenar, vaciar o transferir agua entre ellas, tanto del agua cruda como del agua al cual se le aplicó el coagulante de Cloruro de Polialuminio y al que se le aplicó el Sulfato de aluminio.

Etapas 3: Gabinete

Es esta etapa se procesaron todos los datos obtenidos, posteriormente se procesaron a interpretar mediante tablas y gráficos para poder elaborar el informe final, sustentar y defender el proyecto de investigación.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

Según Arias et al. (2016) la población es un conjunto de objetos, medidas o individuos que tiene características en común y que están ubicados en un momento y lugar y conforman el 100% del fenómeno estudiado. Se consideró como población al agua cruda del Río Higuera del día del tratamiento.

3.2.2 MUESTRA

Según Arias et al. (2016) una muestra es un sub conjunto o una porción representativa de la población y es esta la que se somete a las pruebas de investigación. La muestra del presente estudio estuvo conformada por 24 litros de agua cruda del día del tratamiento.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica que se usará para esta investigación es la observación. Según Espinoza (2010) es una técnica que permite recolectar datos de

forma empírica para organizar la información requerida sobre el tema a investigación. Por ello, para la realización de esta investigación se empleó la técnica ya mencionada, con la finalidad de determinar el coagulante más efectivo.

3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Ficha de recolección de datos. Según Espinoza (2010) esta técnica es un artilugio de campo, que se efectúa para aclarar de manera precisa sobre individuos o sitios, donde el investigador detalla los datos más resaltantes a considerar, sobre todo, es un instrumento que auxilia a recolectar información y datos, en un trabajo de laboratorio o de campo. Es importante el uso de la ficha en cuestión porque se hizo posible registrar la información y sin ningún nexo ni factor que ponga en riesgo la veracidad de los datos consignados.

3.3.3 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para el procesamiento de datos recopilados por el uso de la ficha de observación, se hizo uso del software de estadística SPSS. Este software permitió analizar resultados y generar diversos gráficos estadísticos. Para el desarrollo de los resultados se aplicaron gráficos de barras y gráficos de cajas. Mientras que para la prueba de hipótesis se empleó la comparación de medianas con el estadístico U de Mann-Whitney.

3.3.4 MATERIALES

- ✓ 2 baldes de 20 LTS
- ✓ 3 vasos precipitados de 250ml
- ✓ 4 fioles de 100ml
- ✓ 1 cucharilla
- ✓ 12 jeringas de 10ml
- ✓ 6 jeringas de 5ml
- ✓ 12 jeringas de 20ml
- ✓ 12 vasos descartables
- ✓ 1 franela

- ✓ 1 rollo de papel higiénico
- ✓ 1 lapicero
- ✓ 1 cuaderno
- ✓ 1 guardapolvo
- ✓ 1 par de guantes
- ✓ 1 casco
- ✓ Zapatos de seguridad
- ✓ Frascos de vidrio de 1L

3.3.5 EQUIPOS

- ✓ Turbidímetro
- ✓ Potenciómetro
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Equipo de pruebas de jarras
- ✓ Agitador magnético
- ✓ GPS
- ✓ Cronometro
- ✓ Calculadora

3.3.6 REACTIVOS

- ✓ Sulfato de aluminio granulado Tipo A pantera, tiene un aspecto de cristales color blanco, con un peso de 594.14 g/mol y su fórmula molecular es $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Este reactivo se usa como coagulante principal en tratamiento de agua para el consumo humano, con el fin de remover los contenidos y para separar los sólidos.
- ✓ Cloruro de poli aluminio (PAC), tiene un aspecto amarillo claro y su fórmula molecular es $[\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Cl}_2]_n$ ($1 < n \leq 5$, m. Este reactivo se emplea como coagulante en los procesos de tratamiento de aguas residuales, purificación de agua, entre otros, ya que tiene las siguientes ventajas:
 - Menor consumo de polímero
 - Velocidad de reacción muy alta
 - Alta remoción de turbiedad
 - Aluminio residual muy bajo en contrastación de otros coagulantes.

- Trabajó bien con poco suministro de alúmina.
- Genera bajo volumen de lodos.
- Cambio de color, ya que lo reduce.
- Denota el mismo rendimiento a diferentes temperaturas.
- Efectividad a un amplio rango de pH
- Menor consumo de álcali
- Reduce el carbono orgánico total (TOC)
- Requiere menor gasto coagulante
- No tóxico

3.3.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación, se detalla el procedimiento experimental desarrollado en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Cabrito Pampa de la EPS Seda Huánuco.

❖ Paso N°1: Uso de epps en el laboratorio.

Para empezar con todo el ensayo fue necesario colocarse los equipos de protección personal tales como, guardapolvo, casco, guantes y zapatos de seguridad.

Figura 11

Tesista con el EPP correspondiente



❖ **Paso N° 2: Preparación de la solución madre concentrada al 10% de Cloruro de polialuminio y Sulfato de aluminio.**

En un vaso precipitado se pesó 10 gramos del coagulante en la balanza analítica, se colocó el vaso en el agitador magnético y se diluyó el coagulante con un poco de agua destilada, luego se introdujo a la barra magnética y se agitó sin dejar gránulos de dicho coagulante, para culminar la preparación de esta solución se vació la dilución en una fiola de 100 ml.

Figura 12

Preparación de la solución madre concentrada al 10% de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio



Figura 13

Preparación de la solución madre concentrada al 10% de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio



❖ **Paso N°3: Preparación de la solución de trabajo concentrada al 1% de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio uno diario.**

Al tener la solución madre preparada en una fiola de 100 ml se procedió a introducir una pipeta de 10 ml en la solución madre y se extrajo y 10 ml de solución para verter en otra fiola de 100 ml y aforamos con agua destilada y eso fue nuestra solución de trabajo al 1%.

Figura 14

Preparación de la solución de trabajo concentrada al 1% de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio uno diario



❖ **Paso N°4: Toma de muestra en el canal de ingreso de agua cruda en la PTAP DE SEDA HUÁNUCO:**

En dos baldes de 20 litros se tomaron la muestra del agua cruda, previo a la toma de muestra se lavó el balde 3 veces con la misma agua

y luego se llevó al equipo de prueba de jarras donde se usó 24 litros de agua para su tratamiento.

Figura 15

Toma de muestra en el canal de ingreso de agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco



❖ **Paso N°5: Medición de turbidez inicial, pH.**

El agua se mezcló en el balde para homogenizar la medición de turbidez inicial y pH.

Figura 16

Toma de muestras



Figura 17

Registro de la turbidez inicial

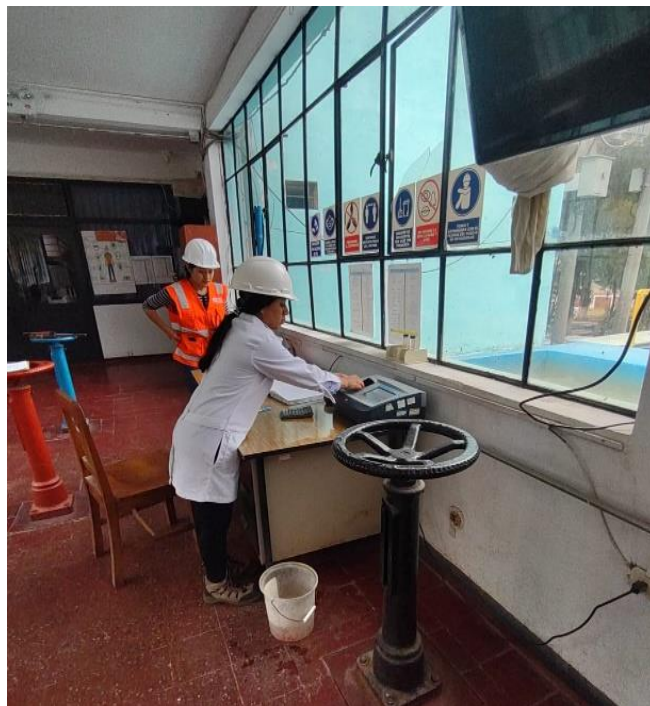


Figura 18

Medición de la turbidez



Figura 19

Registro de turbidez final



❖ **Paso N°6: Colocar la muestra de agua en el banco de prueba de jarras.**

Se llenó cada jarra con un envase de 1000 ml hasta completar los 2 litros de agua cruda por jarra.

Figura 20

Muestra de agua en el banco de pruebas de jarras



❖ **Paso N°7: Aplicación y dosificación del insumo químico en el banco de prueba de jarras a diferentes niveles de dosis.**

Para preparar la solución de trabajo, la dosificación para cada jarra, en seguida, se agregó la solución de trabajo ya dosificada en las jeringas y se aplicó en las 6 jarras al mismo tiempo dando paso al proceso de la mezcla rápida donde se tuvo una velocidad de 300 RPM en un tiempo de 5 segundos como máximo.

Figura 21

Aplicación y dosificación del insumo químico en el banco de prueba de jarras a diferentes niveles de dosis



Figura 22

Aplicación y dosificación del insumo químico en el banco de prueba de jarras a diferentes niveles de dosis



Figura 23

Aplicación y dosificación del insumo químico en el banco de prueba de jarras a diferentes niveles de dosis



❖ **Paso N°8: Proceso de coagulación y floculación.**

Después de la aplicación de los insumos químicos, el agua pasó por distintas gradientes de velocidad para la formación del floc, donde la; 1 gradiente es de 70 RPM, 2 gradiente es de 40 RPM, y la 3 gradiente es de 20 RPM cada uno de ellos con un tiempo de 5 minutos, con un total de 15 minutos como máximo.

Figura 24

Proceso de coagulación y floculación



❖ **Paso N°: Toma de muestra directa de cada jarra.**

Pasado los 30 minutos de reposo se tomó la muestra del sobrenadante a 6 cm de profundidad con una jeringa y se llenó los vasos para realizar una segunda medición de turbidez, pH y posterior a ello se valoró cada jarra con el índice de Willcomb a través de la observación.

Figura 25

Toma de muestra directa a cada jarra



Figura 26

Toma de muestra directa a cada jarra



❖ **Paso N°10: Toma de muestra para laboratorio.**

Después de todo el proceso se recolectó la muestra en frascos de vidrio de 1 litro y se llevó a analizar los parámetros químicos, como alcalinidad y aluminio.

Figura 27

Toma de muestra para laboratorio



❖ **Paso N°11: Anotar los resultados y analizarlos.**

Figura 28

Anotación de resultados para analizarlos



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Tabla 7

Propiedades fisicoquímicas del agua cruda al añadir el sulfato de aluminio

Tipo de compuesto	Turbiedad	Mg/l optimo	Aluminio Residual (mg/L)		Alcalinidad (CaCO3 mg/L)		Turbiedad final (NTU)		% de Remoción		Tiempo de formación del floc, (seg)	Índice de Wilcomb						pH	Dosis Optima
			Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.		0	2	4	6	8	10	Media	Media
Sulfato de aluminio	53,90	5	0.04	0	72.67	2.52	32.8	0.56	39.14	1.03	37	0 %	0%	100 %	0%	0%	0%	7.82	9.8
		15	0.05	0	77	2	26.37	0.74	51.08	1.37	33	0 %	0%	0%	100 %	0%	0%	7.52	3.59
		35	0.05	0	78	5.29	17	0	68.46	0	25	0 %	0%	0%	0%	0%	100 %	7.37	0.95
		50	0.05	0	80	5.29	13.1	0.2	75.69	0.37	19	0 %	0%	0%	0%	0%	100 %	7.25	0.73
		60	0.04	0	79	3.61	10.8	0	79.96	0	15	0 %	0%	0%	0%	0%	100 %	7.2	0.59
		75	0.04	0	81.33	6.11	6.9	0.2	87.19	0.37	9	0 %	0%	0%	0%	0%	100 %	7.15	0.46

Tipo de compuesto	Turbiedad	Mg/l o ppm	Aluminio Residual (mg/L)		Alcalinidad (CaCO3 mg/L)		Turbiedad final (NTU)		% de Remoción		Tiempo de formación del floc, (seg)	Índice de Wilcomb						pH	Dosis Optima
			Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.		Media	0	2	4	6	8	10	Media
	266,00	5	0.07	0	75.33	1.53	165.53	3.69	37.77	1.39	34	0%	100%	0%	0%	0%	0%	7.73	85.75
		15	0.07	0	76.33	1.53	128.57	2.95	51.66	1.11	30	0%	100%	0%	0%	0%	0%	7.5	8.3
		35	0.07	0	80.33	1.53	85.47	0.64	67.86	0.24	21	0%	0%	0%	0%	100%	0%	7.34	2.77
		50	0.07	0	81.67	1.53	65.3	1.37	75.45	0.52	14	0%	0%	0%	0%	100%	0%	7.26	1.98
		60	0.07	0	78.33	1.53	52.7	1.18	80.18	0.45	9	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.23	2.05
		75	0.28	0.36	85.33	1.15	33.33	1.99	87.46	0.75	5	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.18	2.08
	637,00	5	0.08	0	60.33	1.53	396.33	8.86	37.78	1.39	32	0%	100%	0%	0%	0%	0%	8.7	170.4
		15	0.08	0	63	1	303.17	4.1	52.4	0.64	28	0%	0%	100%	0%	0%	0%	8.13	20.96
		35	0.09	0	65	2	204.67	3.87	67.86	0.61	20	0%	0%	0%	100%	0%	0%	7.71	9.81
		50	0.08	0	66	1	154.3	3.21	75.77	0.5	14	0%	0%	0%	0%	100%	0%	7.56	3.05
60		0.09	0	63	1.73	126.8	2.75	80.09	0.43	10	0%	0%	0%	0%	100%	0%	7.47	2.83	

Tipo de compuesto	Turbiedad	Mg/l o ppm	Aluminio Residual (mg/L)		Alcalinidad (CaCO3 mg/L)		Turbiedad final (NTU)		% de Remoción		Tiempo de formación del floc, (seg)	Índice de Wilcomb						pH	Dosis Optima
			Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.		0	2	4	6	8	10	Media	Media
		75	0.08	0	68.67	3.06	80.27	1.25	87.39	0.2	4	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.36	2.64

Nota. Datos obtenidos de la aplicación del instrumento

Los resultados de la Tabla 5.

Evidenciaron que la media del aluminio residual en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm se encuentra entre 0.04 y 0.05 a una turbiedad 53.90; en la turbiedad de 266, la media en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm es de 0.07 y la media en la dosis de 75 ppm es 0.28 y a una turbiedad de 637, la media del aluminio residual es de 0.08 y 0.09 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, y la desviación estándar es de 0.00. Por otro lado, al obtener los datos de la alcalinidad, se identificó que la media se halla entre 72.67 y 81.33 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm a una turbiedad de 53.90; en el caso una turbiedad inicial de 266, la media se halló entre 75.33 y 85.33 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, y a una turbiedad de 637, se identificó una media entre 60.33 y 68.67 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm. En relación a la turbiedad final, se identificó a una turbiedad inicial de 53.90 una media entre 6.90 y 32.80 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, en una turbiedad inicial de 266, la media se encuentra entre 33.33 y 165.53 en las dosis mencionadas, y a una turbiedad inicial de 637, se halló que la media de las dosis se encontró entre 80.27 y 396.33, denotando la media máxima a 5 ppm y la media mínima a 75 ppm. En relación al % de remoción, se identificó que la media entre 39.14 y 87.19 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm; en el caso de la turbiedad inicial de 266, en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm se halla entre 37.77 y 87.46, y en una dosis inicial de 637, en las dosis 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, la media se encuentra entre 37.78 y 87.39. Con respecto al Tiempo de formación del floc, (seg), se halló que la media a una turbiedad inicial de 53.90, se encontró entre 9 y 37; ante una turbiedad inicial de 266, la media en las dosis se identificaron entre 5 y 34, y la media a una turbiedad inicial de 637, se halla entre 4 y 32. Sobre el Índice de Wilcomb, se identificó que en las dosis de 5 ppm y 5 ppm a una turbiedad inicial, el 100% y a una dosis de 637, a una dosis de 5 ppm, el 100% denotó un floc muy pequeño casi imperceptible para un

observador no entrenado. El 100% a una dosis de 5 ppm y a una turbiedad inicial de 53.90 así como a una dosis de 15 ppm a una turbiedad inicial de 637, el 100% evidenció un floc bien formado, pero uniformemente distribuido (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta). Por otro lado, el 100% de las dosis 15 ppm y 35 ppm a una turbiedad inicial de 53.90 y 637 respectivamente, indicaron la existencia del floc de tamaño relativamente grande pero que precipitan con lentitud; en las dosis 35 ppm y 50 ppm a una turbiedad inicial de 266, el 100% refirió que el floc que se deposita fácil pero no completamente y en las dosis 5 ppm y 60 ppm a una turbiedad inicial de 637, el 100% afirmó que el floc que se deposita fácil pero no completamente. En el caso de las dosis 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm a una turbiedad inicial de 53.90 y en las dosis de 60 ppm y 75 ppm, el 100% indicó que el floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina. En el caso del pH Se identificó a una turbiedad de 53.90, la media se halla entre 7.15 y 7.82, en el caso de una turbiedad inicial de 266, la media del pH se halla entre 7.18 y 7.73, y a una turbiedad de 637, la media se encuentra entre 7.36 y 8.70 del pH. Respecto a la dosis óptima se identificó que a una turbiedad de 53.90, la media se halló entre 0.46 y 9.80, a una dosis inicial de 266, la media de la dosis optima se encuentra entre 1.98 y 85.75 y a una dosis de 637, la media se encuentra entre 2.65 y 170.40.

Los resultados de la tabla 6., evidenciaron que la media del aluminio residual en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm se encuentra alrededor de 0.04 y la dosis de 75 ppm, en 0.05 a una turbiedad 53.90; en la turbiedad de 266, la media en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm y 60 ppm es de 0.00 y la media en la do

sis de 75 ppm es 0.46 y a una turbiedad de 637, la media del aluminio residual es de 0.00 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm. Por otro lado, respecto a la alcalinidad, se obtuvo que la media está entre 81.67 y 83.00 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm a una turbiedad de 53.90; en el caso una turbiedad inicial de 266, la media se halló entre 78.33 y 83.00 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, y a una turbiedad de 637, se identificó una media entre 63.67 y 67.00 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm.

Tabla 8

Propiedades físicoquímicas del agua cruda al añadir el cloruro de polialuminio

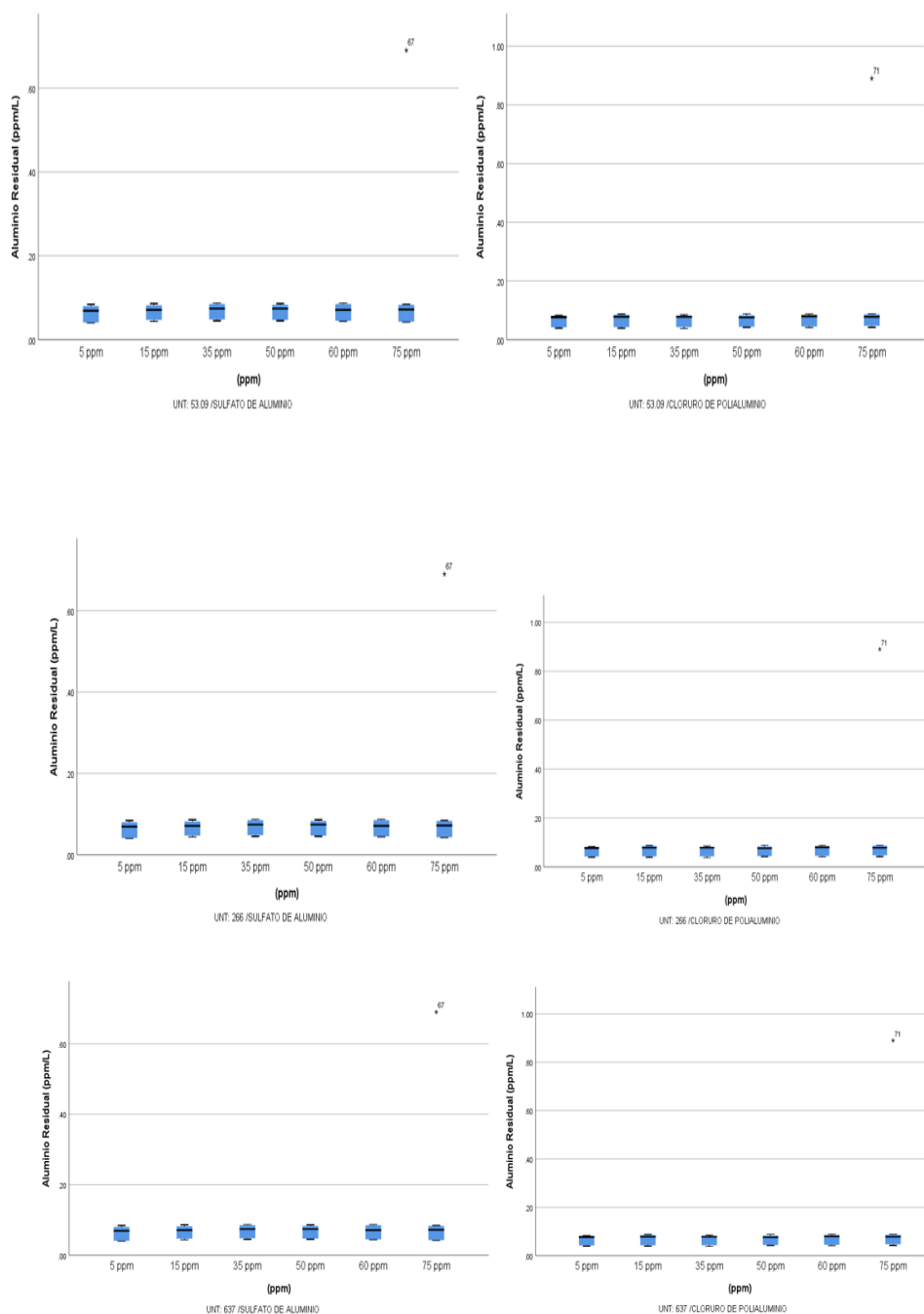
Tipo de compuesto	Turbiedad	ppm	Aluminio Residual (mg/L)		Alcalinidad (CaCO3 mg/L)		Turbiedad final (NTU)		% de Remoción		Tiempo de formación del floc, (seg)	Índice de Wilcomb						pH	Dosis Optima
			Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.		Media	0	2	4	6	8		
Cloruro de Polialuminio	53.90	5	0.04	0	80.33	1.53	31.9	1.55	40.83	2.86	32	0%	0%	0%	100%	0%	0%	7.89	4.5
		15	0.04	0	83	1	23.63	1	56.19	1.83	23	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.76	1.17
		35	0.04	0	81.67	1.53	14.77	0.35	72.59	0.6	9	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.65	0.59
		50	0.04	0	82.33	2.52	10.77	0.4	80.04	0.83	5	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.61	0.46
		60	0.04	0	81.67	1.53	8.7	0.46	83.88	0.82	3	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.59	0.4
		75	0.05	0	83.67	2.52	4.6	0.56	91.48	0.99	1	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.56	0.34
	266.00	5	0.08	0	78.33	1.53	154.6	5.53	41.87	2.09	31	0%	0%	0%	100%	0%	0%	7.8	24.5
		15	0.09	0	80.67	2.08	118.8	8.07	55.33	3.04	23	0%	0%	0%	100%	0%	0%	7.61	2.37
		35	0.08	0	82.33	1.53	74.9	5.72	71.83	2.16	7	0%	0%	0%	0%	100%	0%	7.48	0.96
		50	0.09	0	80.67	2.08	52.73	2.29	80.18	0.85	3	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.42	0.82
		60	0.09	0	82.67	2.08	38.67	5.94	85.45	2.24	2	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.39	0.54
		75	0.35	0.46	83	2.65	22.47	1.48	91.55	0.54	1	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.35	0.42
	637.00	5	0.08	0	66	2	370.67	12.42	41.81	1.94	22	0%	0%	0%	0%	100%	0%	7.97	42.6
		15	0.08	0	67	1.73	289.5	5.85	54.55	0.92	18	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.83	5.24
		35	0.08	0	63.67	2.08	173.47	7.24	72.76	1.14	10	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.74	1.38
		50	0.08	0	66.67	0.58	120.5	4.59	81.07	0.72	4	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.68	1.2
		60	0.08	0	65	3	91.8	3.32	85.58	0.53	1	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.66	0.86
		75	0.08	0	65.67	3.06	55.3	8.35	91.32	1.31	1	0%	0%	0%	0%	0%	100%	7.63	0.76

Nota. Datos obtenidos de la aplicación del instrumento

En relación a la turbiedad final, se identificó que con una turbiedad inicial de 53.90 se obtuvo una media entre 4.60 y 31.90 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, en una turbiedad inicial de 266, la media se encuentra entre 1.48 y 8.07, y con una turbiedad inicial de 637, se halló que la media de las dosis se encontró entre 3.32 y 12.42, denotando la media máxima a 5 ppm y la media mínima a 75 ppm. Respecto al % de remoción, se identificó que la media entre 40.83 y 91.48 en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm; en el caso de la turbiedad inicial de 266, en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm se halla entre 41.87 y 91.55. Con respecto al tiempo de formación del floc, (seg), se halló que la media a una turbiedad inicial de 53.90, se encontró entre 1 y 32; ante una turbiedad inicial de 266, la media en las dosis se identificaron entre 1 y 31, y la media a una turbiedad inicial de 637, se halla entre 1 y 22. Sobre el Índice de Wilcomb, se identificó que, el 100% de las dosis 1000 ppm a una turbiedad inicial de 53.90 y 637 respectivamente, indicaron la existencia del floc de tamaño relativamente grande pero que precipitan con lentitud; en las dosis 5 ppm y 15 ppm a una turbiedad inicial de 266, el 100% refirió que el floc que se deposita fácil pero no completamente y en las dosis 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm a una turbiedad inicial de 637, el 100% afirmó que el floc que se deposita fácil pero no completamente. En el caso de las dosis 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm a una turbiedad inicial de 53.90 y en las dosis de 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, el 100% indicó que el floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina. En el caso del pH se identificó a una turbiedad de 53.90, la media se halla entre 7.56 y 7.89, en el caso de una turbiedad inicial de 266, la media del pH se halla entre 7.35 y 7.80, y a una turbiedad de 637, la media se encuentra entre 7.35 y 7.74 del pH. Finalmente, con respecto a la dosis óptima se identificó que a una turbiedad de 53.90, la media se halló entre 0.34 y 4.50, a una dosis inicial de 266, la media de la dosis óptima se encuentra entre 0.42 y 24.50 y a una dosis de 637, la media se encuentra entre 0.76 y 42.60. Aluminio residual

Figura 29

Análisis comparativo del aluminio residual en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio



Al analizar el aluminio residual a una turbiedad inicial de 53.9, se identificó que al añadir 5 ppm de sulfato de aluminio al agua cruda, el 50% de los datos está por debajo de la media 0.04, en cambio al añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por debajo de 0.05; por el contrario, al añadir 35 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por debajo de 0.05 y por encima de 0.04 y al añadir cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por encima de 0.04. Y, al añadir 75 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos fue mayor a 0.04 y al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio el 75% de los datos está por encima de 0.05. Estos datos señalaron que se obtiene una menor cantidad de aluminio residual al añadir sulfato de aluminio al 5 ppm y 75 ppm y al añadir cloruro de polialuminio al 5 ppm y 50 ppm a una turbiedad inicial de 53.9.

En cambio, una turbiedad inicial de 266, se halló que al añadir 75 ppm de sulfato de aluminio y cloruro de polialuminio al agua cruda, el 50% de los datos está por debajo de 0.01. De esto, se supo que al añadir 75 ppm de sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio, se obtiene una menor cantidad de aluminio residual a una turbiedad inicial de 266.

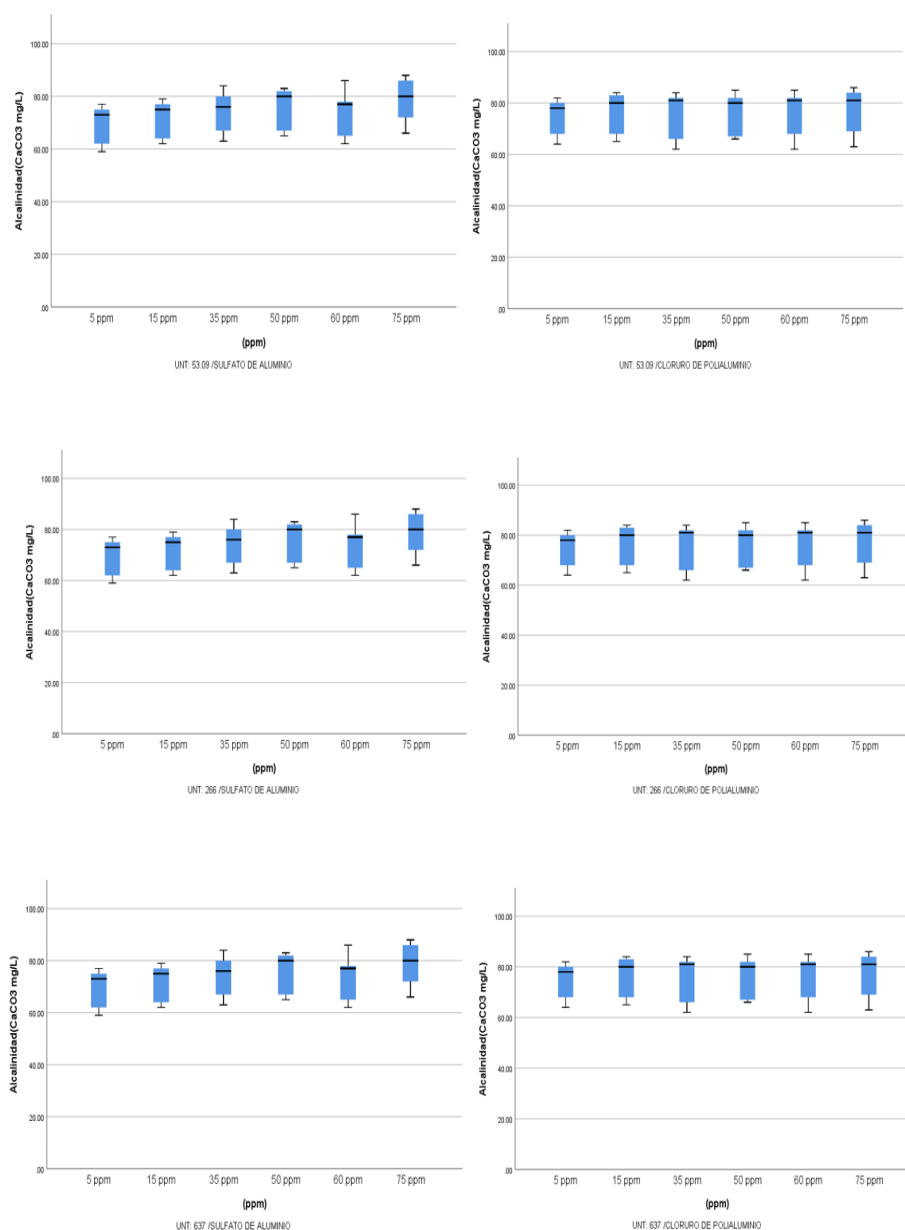
Finalmente, a una turbiedad inicial de 637, se identificó que al añadir cloruro de polialuminio se logra reducir el aluminio residual y al añadir sulfato de aluminio, se aumenta el aluminio residual en el agua cruda. Ya que, al añadir 5 ppm de sulfato de aluminio, el 50% está por encima de 0.08 y al añadir cloruro de polialuminio, el 50% está por debajo de 0.08; así como, al añadir 15 ppm, 60 ppm y 75 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por encima de 0.08 y al añadir 15 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% está por debajo de 0.08.

En resumen, cuando la turbiedad el agua este a 53.9, se considera con mayor pertinencia añadir sulfato de aluminio a 5 ppm y cloruro de polialuminio a 5 ppm, 15 ppm y 35 ppm. Por el contrario, si la turbiedad del agua está a 266, se debe añadir sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio al 75 ppm. Y, si la turbiedad del agua está a 637, se debe añadir cloruro de polialuminio a 5 ppm y 5 ppm. Por tanto, el cloruro de polialuminio añadido al agua permitió la reducción del aluminio residual en el agua cruda a una turbiedad de 53.9, 266 y 637.

4.1.1.1 ALCALINIDAD

Figura 30

Análisis comparativo de alcalinidad en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio



Al revisar los datos obtenidos sobre la alcalinidad del agua a una turbiedad de 53.9, la alcalinidad es menor al añadir el sulfato de aluminio en comparación al añadir el cloruro de polialuminio. Dado que, al añadir 5 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos fue menor a 75 y al añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por encima de 80. Así como, al añadir 50

ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por debajo de 80 y al añadir 50 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por encima de 83.

Por el contrario, a una turbiedad inicial de 266, y al añadir 5 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por encima de 75 y al añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio, el % de los datos está por encima de 77.5; al añadir 50 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por debajo de 81 y al añadir 50 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por debajo de 80. En cambio, al añadir 75 ppm de sulfato de aluminio y cloruro de polialuminio se obtiene que, el 50% de los datos está por debajo de 86 y el 50% está por debajo de 83, respectivamente.

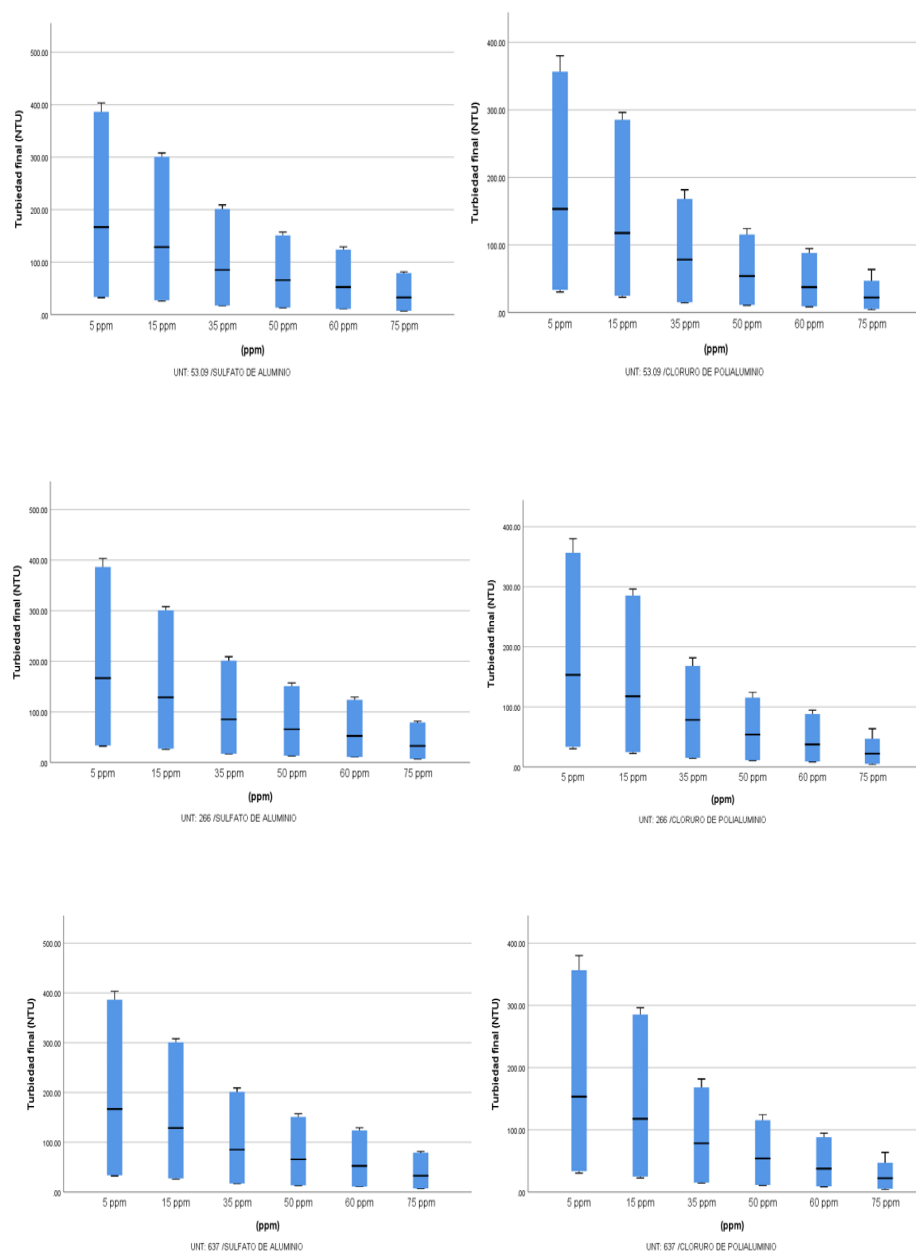
Finalmente, a una turbiedad inicial de 637, al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por debajo de 65 y al añadir 75 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por encima de 68. Dicha situación fue similar al añadir 35 ppm de sulfato de aluminio, se halló que el 50% de los datos está por encima de 65 y al añadir 35 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por debajo de 63 y, al añadir 5 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por encima de 60 y por debajo de 62, y al añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por encima de 66 y por debajo de 68.

En suma, si el agua denota una turbiedad de 53.9, se considera pertinente añadir sulfato de aluminio al 5 ppm y 35 ppm para reducir la alcalinidad del agua. Asimismo, si el agua cruda evidencia una turbiedad de 266, es adecuado añadir sulfato de aluminio al 5 ppm y 15 ppm, también, es factible añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio. Por otro lado, si el agua muestra una turbiedad de 637, se debe añadir 5 ppm, 15 ppm y 60 ppm de sulfato de aluminio; o 35 ppm de cloruro de polialuminio para reducir la alcalinidad en el agua.

4.1.1.2 TURBIEDAD FINAL

Figura 31

Análisis comparativo de turbiedad final en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio



Al analizar los resultados obtenidos sobre la turbiedad final, se verificó que, cuando el agua denota una turbidez inicial de 53.9, y se añade 75 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos está por debajo 7 y por encima de 5 y si se añade 75 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por debajo de 5 y por encima de 4. Por el contrario, al añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos se encuentran por encima de 33 y por debajo de

34 y al añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos está por debajo de 32 y por encima de 30.

Dicha situación, se asemeja cuando el agua denota una turbiedad inicial de 266, ya que, si se añade 15 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos se hallan por encima de 121 y por debajo de 130 y al añadir 15 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos de la turbiedad final está por debajo de 121 y por encima de 110. Por el contrario, al añadir 75 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos se halla debajo de 38 y por encima de 30; al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos se encuentra entre 21 y 30.

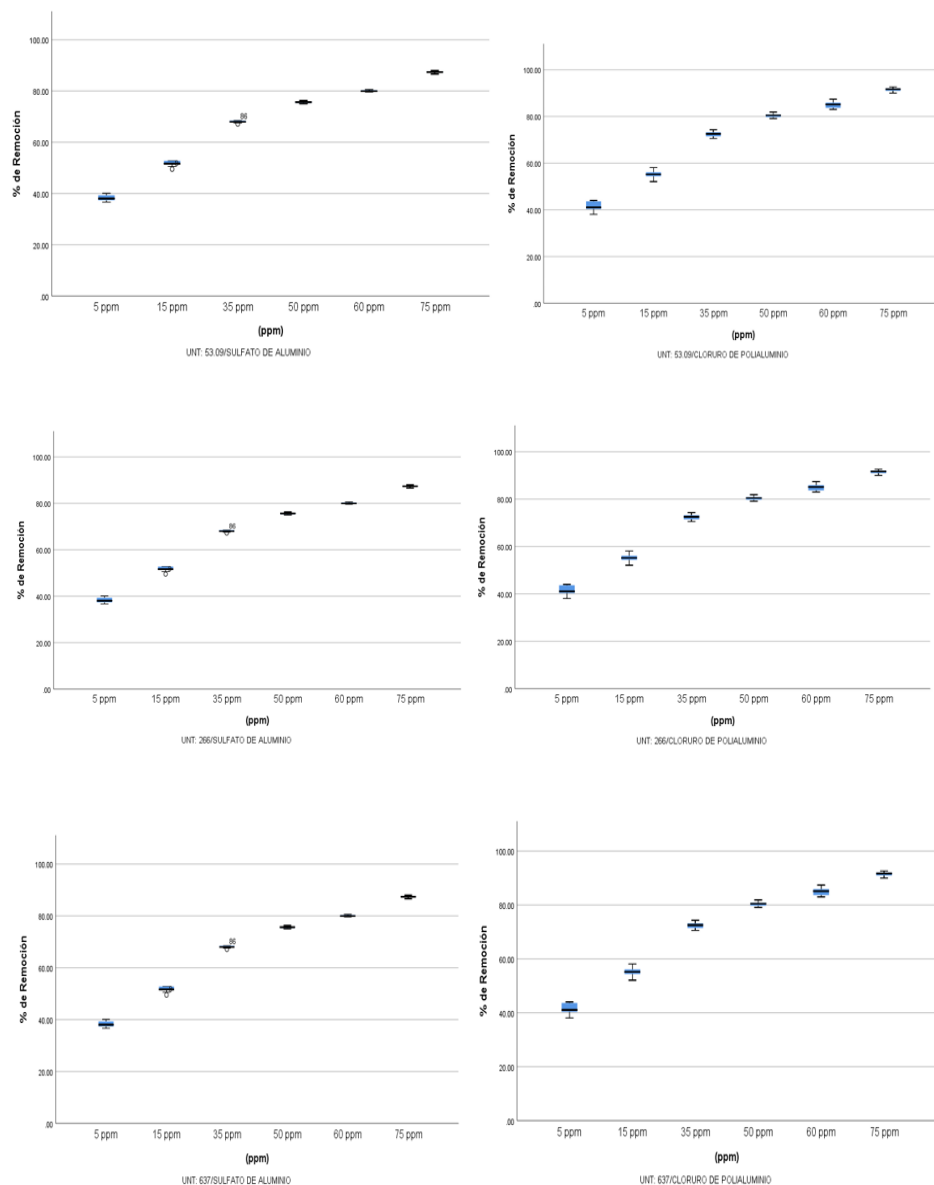
En el agua que denota una turbiedad inicial de 637, al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio, el 50% de los datos se encuentran por debajo de 50 y por encima de 46; y al añadir sulfato de aluminio, el 50% de los datos se hallan por encima de 46 y por debajo de 60. En cambio, al añadir 5 ppm de sulfato de aluminio, el 50% de los datos se hallan por debajo de 370 y por encima de 346 y al añadir cloruro de aluminio, el 50% de los datos se hay entre 350 y 347.

En ese sentido, para reducir la turbiedad del agua inicial a 53.9, se debe añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio o sulfato de aluminio. Semejantes resultados, trae consigo añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio a agua con una turbiedad inicial de 266. Finalmente, en agua con una turbiedad de 637, se debe añadir 75 ppm de sulfato de aluminio o cloruro de aluminio. En base a estos hallazgos, se logró reducir la turbiedad final al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio.

4.1.1.3 % DE REMOCIÓN

Figura 32

Análisis comparativo del % de remoción en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio



Al contrastar los resultados de los ensayos de sulfato de aluminio y cloruro de polialuminio, se halló que: el porcentaje de remoción aumenta significativamente en agua con turbiedad de 53.9, al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio, y que el 50% de los datos se hallan entre 89 y 90; en cambio, al añadir sulfato de aluminio, el 50% de los datos se encuentra entre 83 y 88. Y, al

añadir 5 ppm de sulfato de aluminio y cloruro de aluminio el 50% de los datos denotan estar entre 38 y 40, y 40 y 45. Por tanto, no se logra remover la turbiedad de forma significativa al añadir 5 ppm de cada componente.

Resultados similares, se halló en agua con una turbiedad de 266, ya que al añadir 15 ppm de cloruro de polialuminio, permitió identificar que el 50% de los datos están entre 56 y 58, y al añadir sulfato de aluminio, el 50% de los datos están entre 51 y 54. En cambio, al añadir 60 ppm de estos componentes al agua, el porcentaje de remoción es más, pues el 50% de los datos de sulfato de aluminio está entre 79 y 81, y al añadir cloruro de polialuminio, el 50% de los datos están por debajo de 86 y por encima de 84.

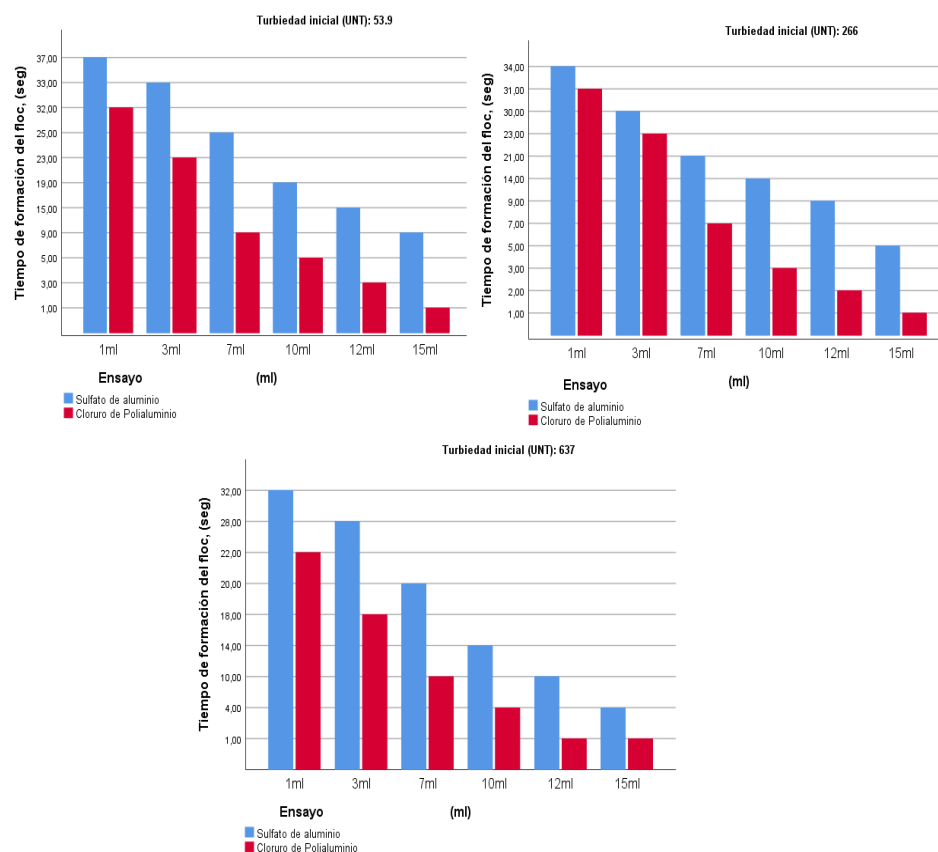
En el caso de una turbiedad a 637, se debe añadir 75 ppm cloruro de polialuminio, ya que permite remover de forma significativa las impurezas del agua. Pues el 50% de los datos se encuentran por encima de la media 91 y menor a 94. Si se añade sulfato de aluminio, la remoción, también es significativa, pero inferior, denotando que el 50% de los datos se encuentran entre 87 y 88. Caso contrario al añadir 5 ppm de cada componente, ya que se obtiene que el 50% de los datos de sulfato de aluminio se halla mayor a 37 y menor a 40, y el 50% de los datos de cloruro de polialuminio se encuentra mayor a 40 y menor a 44.

En resumen, es conveniente añadir 75 ppm cloruro de polialuminio a agua con una turbiedad de 53.9, 266 y 637, ya que permite remover en mayor porcentaje la cantidad de partículas contaminantes que se puede encontrar en el agua cruda.

4.1.1.4 TIEMPO DE FORMACIÓN DEL FLOC, (SEG)

Figura 33

Análisis comparativo del tiempo de formación del floc en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio

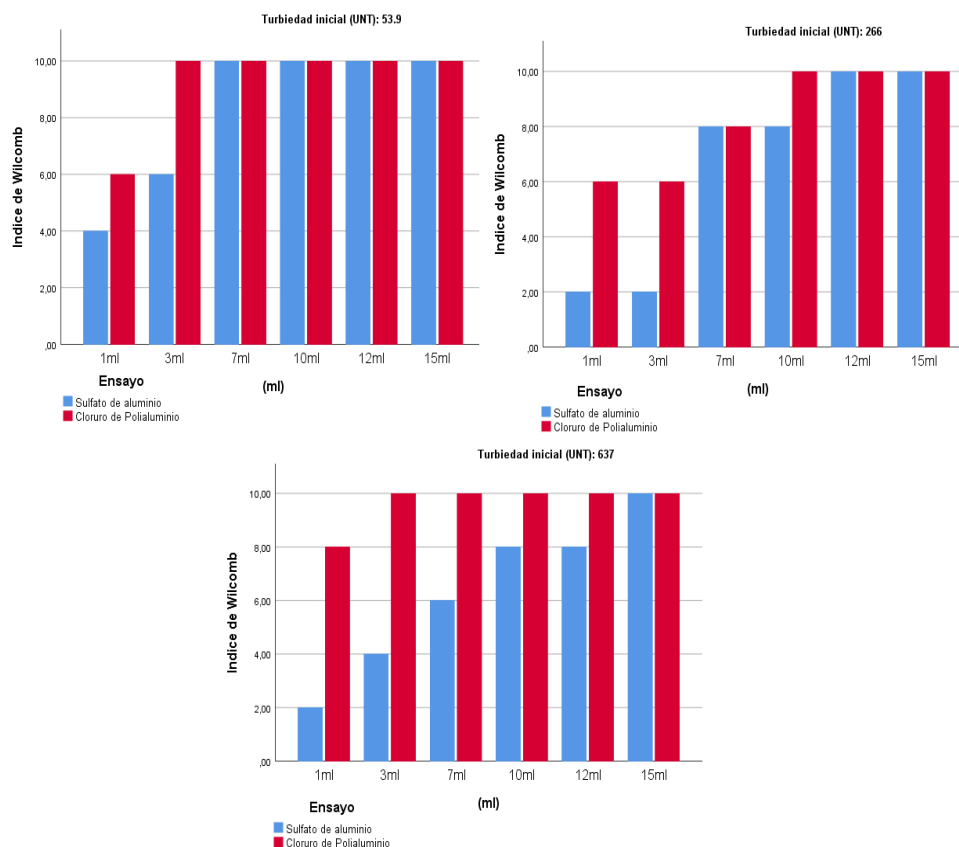


Los datos mostrados evidencian que la media del tiempo de formación de floc (37) es mayor al añadir el sulfato de aluminio a 5 ppm y la media de tiempo de formación de floc (1) es menor al añadir 75 ppm de cloruro de aluminio, cuando el agua denota una turbiedad inicial de 53.9. Dicha situación es similar en agua con una turbiedad inicial de 266, ya que al añadir 35 ppm de sulfato de aluminio, el tiempo de formación de floc (21) es mayor y al añadir 60 ppm de cloruro de polialuminio, la media de tiempo es menor (2). Así también, cuando el agua denota una turbiedad inicial de 637, al añadir 75 ppm cloruro de polialuminio, la media del tiempo de formación de floc es 1 y al añadir 5 ppm de sulfato de aluminio, la media del tiempo de formación de floc es 32; por tanto, es mejor añadir el cloruro de polialuminio para mejorar la separación de sólidos del agua y del coagulante.

4.1.1.5 ÍNDICE DE WILCOMB

Figura 34

Análisis comparativo del índice de Wilcomb en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio

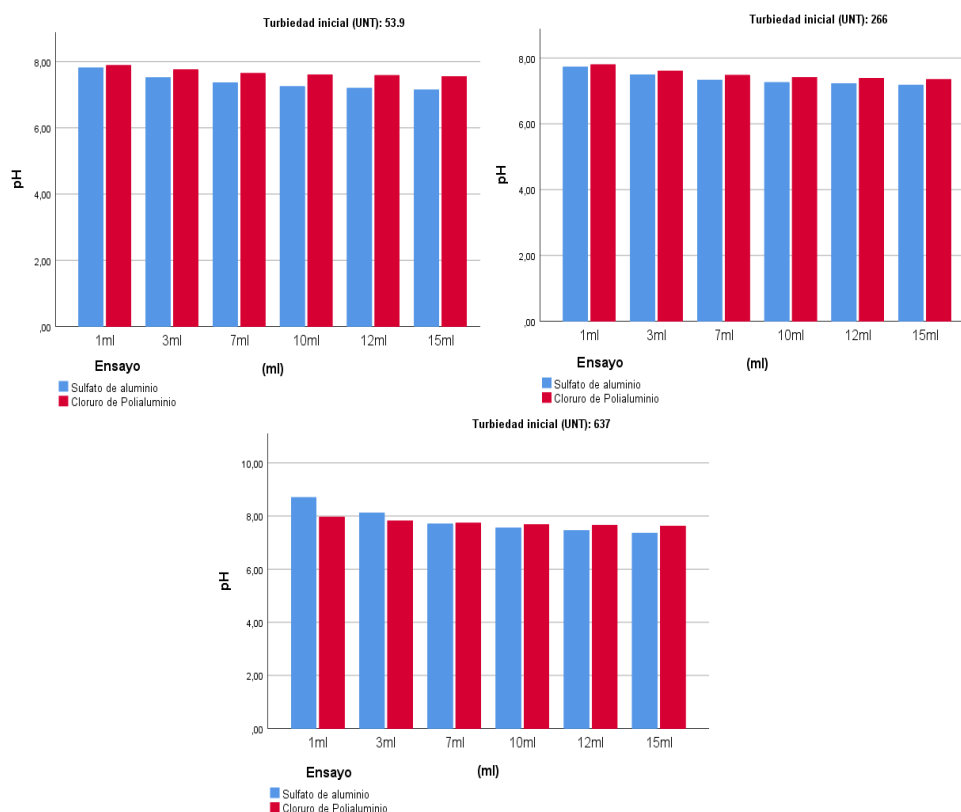


Se ha identificado que añadir cloruro de polialuminio permite mejorar el agua, ya que al añadir 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm 60 ppm o 75 ppm al gua cruda, se logra una media de 10, lo cual significa que el agua se encuentra excelente, pues el floc deposita todo y deja al agua cristalina, cuando se encuentra a una turbiedad de 53.9. En el caso de agua con una turbiedad de 266, añadir 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio, también se obtiene una media de 10. Y, en aguas con una turbiedad de 637, es pertinente añadir 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio para dejar el agua cristalina.

4.1.1.6 PH

Figura 35

Análisis comparativo del pH en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio

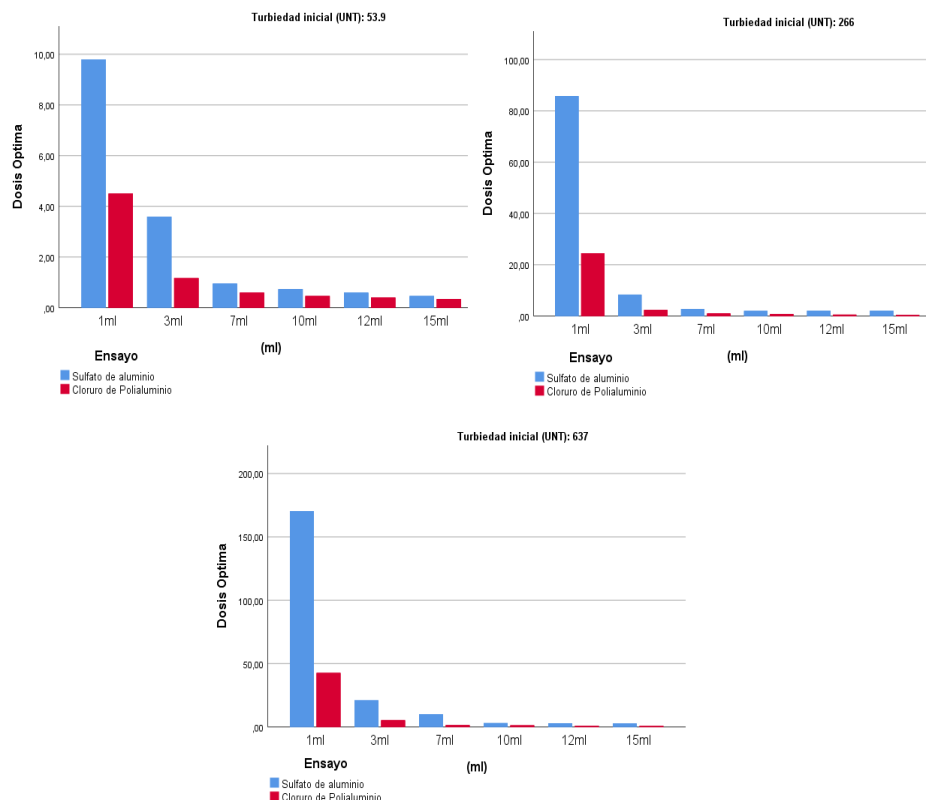


El pH se valora de 1 – 14, 1 más ácido y 14 menos ácido. Y el valor 7, denota valor neutro. A partir de esto, cuando el agua se encuentra a una turbiedad inicial de 53.9, media del pH se encuentra entre 7 y 8, cuando se añade 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de aluminio. En cambio, en agua con turbiedad inicial de 266, la media del pH se y ubica entre 7 y 8, al añadir 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de sulfato de aluminio. En aguas con turbiedad inicial de 637, se obtiene una media entre 7 y 8 al añadir 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio. Dichos hallazgos evidenciaron la efectividad para reducir la acidez del agua, usando dichos componentes en agua turbia.

4.1.1.7 DOSIS ÓPTIMA

Figura 36

Análisis comparativo de la dosis óptima en Sulfato de aluminio vs. Cloruro de polialuminio



Los resultados evidencian que a una turbiedad inicial de 53.9, la media de la dosis óptima se halla entre 1 y 2, al añadir 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio al agua. Y al añadir 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm, o 75 ppm de sulfato de aluminio. En ese sentido, cuando el agua se encuentra a una turbiedad inicial de 266, la media es inferior a 1 al añadir 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio. En cambio, al añadir sulfato de aluminio al 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm a agua con una turbiedad inicial de 637, la media es 1 y al añadir 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio, la media es 1 en agua con una turbiedad de 637.

4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.2.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 1

a. Hipótesis estadística

(H₀): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 = Me_2$$

(H₁): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 \neq Me_2$$

b. Nivel de probabilidad: 0.05

c. Prueba estadística: Prueba T

Tabla 9

Comprobación de la primera hipótesis específica

Turbiedad inicial (UNT)	Turbidez final		
	Dosis ppm	Diferencia de medias	p-valor
53.90	5	0.90000	0.398
	15	2.73333	0.019
	35	2.23333	0.000
	50	2.33333	0.001
	60	2.10000	0.001
	75	2.30000	0.003
266.00	5	10.93333	0.047
	15	9.76667	0.120
	35	10.56667	0.033
	50	12.56667	0.001
	60	14.03333	0.016
	75	10.86667	0.002
637.00	5	25.66667	0.043
	15	13.66667	0.030
	35	31.20000	0.003
	50	33.80000	0.000

Turbiedad inicial (UNT)	Turbidez final		
	Dosis ppm	Diferencia de medias	p-valor
	60	35.00000	0.000
	75	24.96667	0.007

Nota. Datos logrados del procesamiento estadístico en el software SPSS.

d. Regla de decisión: Si el p-valor ≤ 0.05 ; se rechaza la H_0 .

e. Análisis estadístico

Según la tabla 9., el p-valor de turbidez final en las dosis de 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm en una turbidez inicial de 53.9 es menor a 0.05, ya se encuentra entre 0.000 y 0.019. Asimismo, en una turbidez inicial de 266 en las dosis 5 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, el p-valor se encuentra entre 0.001 y 0.033, siendo valores inferiores a 0.05. Así como, en una turbidez inicial de 637 en las dosis 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, el p-valor se halla entre 0.000 y 0.043, siendo valores inferiores a 0.05. Por tanto, se hallaron diferencias significativas en las medias, lo cual indica que se debe rechazar la H_0 .

f. Conclusión estadística

En base al análisis estadístico, se acepta la H_1 ; por tanto, el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

4.2.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 2

a. Hipótesis estadística

(H_0): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 = Me_2$$

(H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 \neq Me_2$$

b. Nivel de probabilidad: 0.05

c. Prueba estadística: U de Mann-Whitney

Tabla 10

Comprobación de la segunda hipótesis específica

Turbiedad inicial (UNT)	pH	
	Dosis ppm	p-valor
53.90	5	0.025
	15	0.025
	35	0.025
	50	0.025
	60	0.025
	75	0.025
266.00	5	0.025
	15	0.025
	35	0.025
	50	0.025
	60	0.025
	75	0.025
637.00	5	0.025
	15	0.025
	35	0.025
	50	0.025
	60	0.025
	75	0.025

Nota. Datos logrados del procesamiento estadístico en el software SPSS.

d. Regla de decisión: Si el p-valor $\leq$ 0.05; se rechaza la H0.

e. Análisis estadístico

Según la tabla 10., el p-valor de pH en las dosis de 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm en una turbidez inicial de 53.9 es menor a 0.05, pues es 0.025. Asimismo, en una turbidez inicial de 266 en las dosis 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, el p-valor es 0.025, siendo un valor inferior a 0.05. Así como, en una turbidez inicial de 637 en las dosis 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, el p-valor es 0.025, siendo un valor inferior a 0.05. Por tanto, se hallaron diferencias significativas en las medias, lo cual indica que se debe rechazar la H0.

f. Conclusión estadística

En base al análisis estadístico, se acepta la H1; por tanto, el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

4.2.3 HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 3

a. Hipótesis estadística

(H₀): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 = Me_2$$

(H₁): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 \neq Me_2$$

b. Nivel de probabilidad: 0.05

c. Prueba estadística: Prueba T

Tabla 11

Comprobación de la tercera hipótesis específica

Turbiedad inicial (UNT)	Alcalinidad		
	Dosis ppm	Diferencia de medias	p-valor
53.90	5	-7.66667	0.011
	15	-6.00000	0.010
	35	-3.66667	0.313
	50	-3.33333	0.259
	60	-1.66667	0.628
	75	-2.33333	0.574
266.00	5	-3.00000	0.074
	15	-4.33333	0.044
	35	-2.00000	0.184
	50	1.00000	0.539
	60	-4.33333	0.044
	75	2.33333	0.234

Turbiedad inicial (UNT)	Alcalinidad		
	Dosis ppm	Diferencia de medias	p-valor
637.00	5	-5.66667	0.018
	15	-4.00000	0.026
	35	1.33333	0.469
	50	-0.66667	0.374
	60	-2.00000	0.374
	75	3.00000	0.295

Nota. Datos logrados del procesamiento estadístico en el software SPSS.

d. Regla de decisión: Si el p-valor ≤ 0.05 ; se rechaza la H_0 .

e. Análisis estadístico

Según la tabla 11., el p-valor de alcalinidad en las dosis de 5 ppm y 15 ppm en una turbidez inicial de 53.9 es menor a 0.05, ya que son 0.010 y 0.011. Asimismo, en una turbidez inicial de 266 en las dosis 15 ppm y 60 ppm, el p-valor es 0.044, siendo valores inferiores a 0.05. Así como, en una turbidez inicial de 637 en las dosis 5 ppm y 15 ppm, el p-valor es de 0.018 y 0.026 respectivamente, siendo valores inferiores a 0.05. Por tanto, se hallaron pocas diferencias significativas en las medias, lo cual indica que se debe aceptar la H_0 .

f. Conclusión estadística

En base al análisis estadístico, se acepta la H_0 ; por tanto, el coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

4.2.4 HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 4

a. Hipótesis estadística

(H_0): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 = Me_2$$

(H₁): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 \neq Me_2$$

b. Nivel de probabilidad: 0.05

c. Prueba estadística: U de Mann-Whitney

Tabla 12

Comprobación de la cuarta hipótesis específica

Índice de Wilcomb		
Turbiedad inicial (UNT)	Dosis ppm	p-valor
53.90	5	0.025
	15	0.025
	35	1.000
	50	1.000
	60	1.000
	75	1.000
266.00	5	0.025
	15	0.025
	35	1.000
	50	0.025
	60	1.000
	75	1.000
637.00	5	0.025
	15	0.025
	35	0.025
	50	0.025
	60	0.025
	75	1.000

Nota. Datos logrados del procesamiento estadístico en el software SPSS.

d. Regla de decisión: Si el p-valor $\leq$ 0.05; se rechaza la H₀.

e. Análisis estadístico

Según la tabla 12., el p-valor del índice de Wilcomb en las dosis de 5 ppm y 15 ppm en una turbidez inicial de 53.9 es menor a 0.05, pues es 0.025. Asimismo, en una turbidez inicial de 266 en las dosis 5 ppm, 15 ppm y 50 ppm, el p-valor es 0.025, siendo un valor inferior a 0.05. Así como, en una turbidez

inicial de 637 en las dosis 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm y 60 ppm, el p-valor es 0.025, siendo un valor inferior a 0.05. Por tanto, se hallaron diferencias significativas en las medias, lo cual indica que se debe rechazar la H₀.

f. Conclusión estadística

En base al análisis estadístico, se acepta la H₀; por tanto, el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

4.2.5 HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 5

a. Hipótesis estadística

(H₀): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 = Me_2$$

(H₁): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 \neq Me_2$$

b. Nivel de probabilidad: 0.05

c. Prueba estadística: Prueba T

Tabla 13

Comprobación de la quinta hipótesis específica

Aluminio Residual (mg/L)			
Turbiedad inicial (UNT)	Dosis ppm	Diferencia de medias	p-valor
53.90	5	-0.00033	0.768
	15	0.00433	0.041
	35	0.00567	0.029
	50	0.00267	0.039
	60	0.00167	0.238
	75	-0.00267	0.163

266.00	5	-0.01400	0.001
	15	-0.01400	0.001
	35	-0.00933	0.003
	50	-0.01200	0.002
	60	-0.01467	0.001
	75	-0.07700	0.831
637.00	5	0.00500	0.028
	15	0.00567	0.027
	35	0.00733	0.005
	50	0.00733	0.046
	60	0.00700	0.013
	75	0.00367	0.132

Nota. Datos logrados del procesamiento estadístico en el software SPSS.

d. Regla de decisión: Si el p-valor ≤ 0.05 ; se rechaza la H_0 .

e. Análisis estadístico

Según la tabla 13., el p-valor de aluminio residual en las dosis de 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm y 60 ppm en una turbidez inicial de 53.9 es menor a 0.05, ya que se encuentran entre 0.029 y 0.041. Asimismo, en una turbidez inicial de 266 en las dosis 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm y 60 ppm, el p-valor está entre 0.001 y 0.003, siendo valores inferiores a 0.05. Así como, en una turbidez inicial de 637 en las dosis 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm y 60 ppm, el p-valor está entre 0.005 y 0.046, siendo valores inferiores a 0.05. Por tanto, se hallaron diferencias significativas en las medias, lo cual indica que se debe rechazar la H_0 .

f. Conclusión estadística

En base al análisis estadístico, se acepta la H_1 ; por tanto, el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP Seda Huánuco.

4.2.6 HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 6

a. Hipótesis estadística

(H_0): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más factible económicamente que el Sulfato de Aluminio.

(H_1): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más factible económicamente que el Sulfato de Aluminio.

b. Análisis

El sulfato de aluminio en la presentación de una bolsa x 25kg tiene un precio de S/ 73.00 (revisar **Anexo 9**); mientras que el cloruro de polialuminio en la presentación de bidón x 30kg tiene un precio de S/ 215.00 (ver **Anexo 8**). Estandarizando el precio por kg se obtuvo que el sulfato de aluminio tiene un precio de S/ 2.92 /kg y el cloruro de polialuminio de S/ 7.17 /kg.

c. Conclusión estadística

En base al análisis estadístico, se rechaza la H1; por tanto, el coagulante Cloruro de Polialuminio es menos factible económicamente que el Sulfato de Aluminio.

4.2.7 HIPÓTESIS GENERAL

a. Hipótesis estadística

(H₀): El coagulante Cloruro de Polialuminio **no** es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 = Me_2$$

(H₁): El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

$$Me_1 \neq Me_2$$

b. Nivel de probabilidad: 0.05

c. Resumen estadístico

Tabla 14

Comprobación de la hipótesis general

Turbiedad inicial (UNT)	Dosis ppm	Turbidez final	pH	Alcalinidad	Índice de Wilcomb	Aluminio Residual (mg/L)
		p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
53.90	5	0.398	0.025	0.011	0.025	0.768
	15	0.019	0.025	0.010	0.025	0.041
	35	0.000	0.025	0.313	1.000	0.029
	50	0.001	0.025	0.259	1.000	0.039

Turbiedad inicial (UNT)	Dosis ppm	Turbidez final p-valor	pH p-valor	Alcalinidad p-valor	Índice de Wilcomb p-valor	Aluminio Residual (mg/L) p-valor
	60	0.001	0.025	0.628	1.000	0.238
	75	0.003	0.025	0.574	1.000	0.163
266.00	5	0.047	0.025	0.074	0.025	0.001
	15	0.120	0.025	0.044	0.025	0.001
	35	0.033	0.025	0.184	1.000	0.003
	50	0.001	0.025	0.539	0.025	0.002
	60	0.016	0.025	0.044	1.000	0.001
	75	0.002	0.025	0.234	1.000	0.831
637.00	5	0.043	0.025	0.018	0.025	0.028
	15	0.030	0.025	0.026	0.025	0.027
	35	0.003	0.025	0.469	0.025	0.005
	50	0.000	0.025	0.374	0.025	0.046
	60	0.000	0.025	0.374	0.025	0.013
	75	0.007	0.025	0.295	1.000	0.132

Nota. Datos logrados del procesamiento estadístico en el software SPSS.

d. Regla de decisión: Si el p-valor $\leq$ 0.05; se rechaza la H0.

e. Análisis estadístico

Según la tabla 14.

turbidez final en una turbidez inicial de 53.9, 266 y 637 denota un p-valor entre 0.000 a 0.047, al 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm y 60 ppm y 75 ppm, los cuales son valores inferiores a 0.05. Asimismo, el p-valor del pH es de 0.025 al 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, en una turbidez inicial de 53.9, 266 y 637. También, el p-valor de alcalinidad se halla entre 0.010 y 0.044, solo al 5 ppm, 15 ppm y 60 ppm, en una turbidez inicial de 53.9, 266 y 637. Con respecto al índice Wilcomb, el p-valor es de 0.025 al 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, en una turbidez inicial de 53.9, 266 y 637. Y, con respecto al aluminio residual, el p-valor al 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, en una turbidez inicial de 53.9, 266 y 637 se halla entre 0.001 y 0.046. Por tanto, se hallaron diferencias significativas en las medias, lo cual indica que se debe rechazar la H0.

f. Conclusión estadística

En base al análisis estadístico, se acepta la H1; por tanto, el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 PRESENTAR LA CONTRATACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Con respecto al objetivo general, se determinó que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda, ya que el cloruro de polialuminio añadido al agua permitió la reducción del aluminio residual en el agua cruda a una turbiedad de 53.9, 266 y 637. Asimismo, al añadir 5 ppm, 15 ppm y 60 ppm, de sulfato de aluminio; o 35 ppm de cloruro de polialuminio se reduce la alcalinidad en el agua y se logró reducir la turbiedad final al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio. Por otro lado, es conveniente añadir 75 ppm cloruro de polialuminio a agua con una turbiedad de 53.9, 266 y 637, ya que permite remover en mayor porcentaje la cantidad de partículas contaminantes que se puede encontrar en el agua cruda y añadir el cloruro de polialuminio para mejorar la separación de sólidos del agua y del coagulante. También, se identificó que es pertinente añadir 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio para dejar el agua cristalina. Además, se evidenció la efectividad de reducir la acidez del agua, usando cloruro de polialuminio en agua cruda.

Este hallazgo fue similar al de Galvis y Marín (2020), pues los autores coinciden que el Policloruro de aluminio tiene una eficiencia mayor; ya que en el 51.32% el Policloruro de aluminio tuvo una eficiencia mayor en la remoción de turbidez; y tuvo una eficiencia del 81.12% en la remoción de la turbidez. A partir de ello, afirmaron que el policloruro de aluminio tuvo una mayor eficiencia en la remoción de la turbiedad y el sulfato de aluminio es más eficiente en la remoción de color. Por su lado, Crespo (2021) discrepa con este resultado, ya que identificó que con el sulfato de aluminio hubo una remoción de turbidez del 90.54% y el hidroxiclорuro de aluminio tiene una remoción de 97.70%; con el sulfato de aluminio hubo una remoción de color del 94.02% y con el hidroxiclорuro de aluminio una remoción del 98.67%, afirmando que el hidroxiclорuro de aluminio es mejor coagulante.

Al tratar el agua en una planta especializada, se añaden coagulantes para mejorar la calidad de la misma. De este modo, se usan coagulantes específicos para remover los contaminantes que se hallan en el agua cruda y, modificar las propiedades fisicoquímicas, hasta conseguir el valor pertinente para potabilizar el agua. En base a esto, la turbiedad debe ser menor 0.10 UNT para garantizar la eliminación de microorganismos en el agua cruda. Es así que, se desinfecta el agua cruda, logrando remover la mayor cantidad de elementos patógenos que no se logran filtrar, ya que el pH adecuados debe estar entre 5.5 y 6.5, al verificar los hallazgos del estudio, se identificó que, efectivamente añadir el PAC permite mejorar el pH, reducir la turbiedad, la alcalinidad y el aluminio residual, debido a la cantidad del porcentaje de microorganismos eliminados (De Vargas, 2004).

Con respecto al primer objetivo específico, se halló que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda; dado que, para reducir la turbiedad del agua inicial a 53.9, se debe añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio o sulfato de aluminio. Semejantes resultados, trae consigo añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio a agua con una turbiedad inicial de 266. Finalmente, en agua con una turbiedad de 637, se debe añadir 75 ppm de sulfato de aluminio o cloruro de aluminio. En base a estos hallazgos, se logró reducir la turbiedad final al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio. Dicho hallazgo discrepa con lo identificado por Chele (2019), pues evidenció que después de aplicar el coagulante la turbiedad sulfato de aluminio, se reduce a 2,23 NTU; el color se reduce a 0 UPC; y el pH oscila entre 7.58 y 8.18. Se llegó a la conclusión de que el sulfato de aluminio tipo A optimiza los procesos de floculación y coagulación del agua. por el contrario, Yann y otros autores (2020) al realizar su experimento con cloruro de polialuminio, el experimento mostró que la mayor eficiencia de eliminación de turbidez es del 97,1%, 95,6% y 95,6% de 60 mg/L de PAC amarillo, PAC marrón y alumbre respectivamente, mientras que el pH cambió de 7,45 a 7,08, 6,88 y 6,77 respectivamente. Aseverando que la mayor eliminación de turbidez se obtuvo con 40 mg/L de PAC marrón dentro del 96,8%, 60 mg/L de PAC amarillo y alumbre dentro del 97,1% y 95,6%, respectivamente.

Este hallazgo, se encuentra dentro de los parámetros pues al tratar el agua mediante coagulantes se logra la reducción de la turbiedad, clasificando los procesos en base a los valores designados, en el caso de la turbiedad final, el parámetro adecuado es de 0.1 UNT, y en el estudio se halló que los datos se encontraban dentro de este rango al añadir PAC al agua cruda, logrando reducir la turbiedad de forma significativa a una dosis de 75 ppm (De Vargas, 2004).

Con respecto al segundo objetivo específico, se determinó que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda; ya que, el agua se encuentra a una turbiedad inicial de 53.9, media del pH se encuentra entre 7 y 8, cuando se añade 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm, de cloruro de aluminio. En cambio, en agua con turbiedad inicial de 266, la media del pH se y ubica entre 7 y 8, al añadir 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm de sulfato de aluminio. En aguas con turbiedad inicial de 637, se obtiene una media entre 7 y 8 al añadir 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm de sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio. Dichos hallazgos evidenciaron la efectividad para reducir la acidez del agua, usando dichos componentes en agua turbia. Este resultado fue se asemeja al logrado por Teguh y otros autores (2022), quienes al añadir el coagulante cloruro de polialuminio (PAC) la turbidez se redujo a 0.36 NTU y el valor del pH tuvo tendencia a disminuir. Concluyendo que el policloruro de aluminio (PAC) es más efectivos. Asimismo, Owusu et al. (2021) al analizar el cloruro de polialuminio sobre el rendimiento de la coagulación mediante experimento del tratamiento del agua, los resultados mostraron que el pH al aplicar el PAC varió de 7.5 a 8.0, y mejoró la eliminación de turbidez y color del agua tratada. Por tanto, se llegó a la conclusión de que el PAC fue efectivo.

Dicho resultado, se verifica al identificar si el pH se redujo de forma significativa, el cual se debe encontrar entre 5.5. y 6.5, para que el agua denote menos acidez y sea mucho más factible para el consumo de la población. En ese sentido, el resultado del pH en el experimento del agua cruda fue a una turbiedad inicial de 53.9, media del pH se encuentra entre 7 y 8, cuando se añade 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 75 ppm de cloruro de aluminio. Estos valores señalaron que los valores se hayan dentro

del parámetro máximo que debe evidenciar para filtrar el agua de forma rápida (De Vargas, 2004).

Con respecto al tercer objetivo específico, se identificó que el coagulante Cloruro de Polialuminio no es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda; dado que, si el agua denota una turbiedad de 53.9, se considera pertinente añadir sulfato de aluminio al 5 ppm y 35 ppm para reducir la alcalinidad del agua. Asimismo, si el agua cruda evidencia una turbiedad de 266, es adecuado añadir sulfato de aluminio al 5 ppm y 15 ppm, también, es factible añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio. Por otro lado, si el agua muestra una turbiedad de 637, se debe añadir 5 ppm, 15 ppm y 60 ppm de sulfato de aluminio; o 35 ppm de cloruro de polialuminio para reducir la alcalinidad en el agua. Este hallazgo fue semejante al de Aghyani y otros autores (2023), ya que al analizar la turbidez y alcalinidad identificó que el proceso de coagulación puede asegurar la eliminación de turbidez de aguas de turbidez baja a alta (es decir, 18,3, 39,2, 72,5 y 136 NTU), la mayor eficiencia de eliminación de turbidez estuvo entre 96,6 y 98,3 % para policloruro de aluminio en el rango de turbidez aplicado. Se llegó a la conclusión de que ambos coagulantes aplicados demostraron un rendimiento prometedor en la eliminación de turbidez del agua; sin embargo, no se identificó una reducción significativa en la alcalinidad del agua. Por su lado, Asyura et al. (2022) contradice el hallazgo del estudio, pues halló que el cloruro de polialuminio es más eficiente con un 83,74% en comparación con el sulfato de aluminio, que tiene una tasa de eficiencia del 83,35%. Ya que asevera que el cloruro de polialuminio tiene mejor rendimiento y es más eficiente en comparación con el sulfato de aluminio debido a su mejor rendimiento de coagulación.

Al tratar el agua de forma rápida se logra remover la concentración de alcalinidad, ello usando elementos ácidos y componentes que permitan disminuir el pH. En ese sentido, en el estudio, se identificó que el coagulante PAC al añadir al agua a 75 ppm, se logra reducir el pH y, añadiendo 5 ppm y 35 ppm de PAC se logra reducir la alcalinidad del agua cruda; de este modo, se logró reducir la acumulación de minerales en el agua para potabilizarlo (De Vargas, 2004).

Con respecto al cuarto objetivo específico, se determinó que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda; puesto que, se ha identificado que añadir cloruro de polialuminio permite mejor el agua, ya que al añadir 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm al agua cruda, se logra una media de 10, lo cual significa que el agua se encuentra excelente, pues el floc deposita todo y deja al agua cristalina, cuando se encuentra a una turbiedad de 53.9. En el caso de agua con una turbiedad de 266, añadir 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio, también se obtiene una media de 10. Y, en aguas con una turbiedad de 637, es pertinente añadir 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio para dejar el agua cristalina. Dicho hallazgo fue semejante al de Asyura et al. (2022), estos autores al realizar un experimento con cloruro de polialuminio, identificó que es más eficiente con un 83,74% en comparación con el sulfato de aluminio para reducir el índice de Wilcomb, ya que tiene una tasa de eficiencia del 83,35%. A partir de ello, se concluye que el cloruro de polialuminio tiene mejor rendimiento y es más eficiente en comparación con el sulfato de aluminio debido a su mejor rendimiento de coagulación. En cambio, Medina (2021) contradice los resultados de la tesis, ya que en su experimento halló que con una dosis de 60 ppm el sulfato de aluminio tipo A redujo la el índice de Wilcomb a 23.6; con una dosis de 50 ppm de policloruro de aluminio, se redujo 23.5 UNT. Por tanto, el sulfato de aluminio tipo A tuvo una mejor efectividad al reducir el índice de Wilcomb.

En las plantas de tratamiento la meta esperada al tratar el agua cruda, cuando se usan coagulantes para mejorar la calidad de agua y remover los contaminantes del mismo, se debe llegar a un índice de Willcomb excelente, ya que este valor permite verificar que el flóculo se ha logrado depositar de forma completa en el agua, hasta dejar el agua completamente cristalina. Esto se llegó en el experimento desarrollado, al añadir el PAC, por tanto, este coagulante es sumamente eficiente para dejar el agua cristalina y potabilizarla (De Vargas, 2004).

Con respecto al quinto objetivo específico, se halló que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua

cruda, pues cuando la turbiedad el agua este a 53.9, se considera con mayor pertinencia añadir sulfato de aluminio a 5 ppm y cloruro de polialuminio a 5 ppm, 15 ppm y 35 ppm. Por el contrario, si la turbiedad del agua está a 266, se debe añadir sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio al 15%. Y, si la turbiedad del agua está a 637, se debe añadir cloruro de polialuminio a 5 ppm y 50 ppm. Por tanto, el cloruro de polialuminio añadido al agua permitió la reducción del aluminio residual en el agua cruda a una turbiedad de 53.9, 266 y 637. Dicho resultado coincide con lo hallado por el autor Asenjo (2020), ya que al realizar un experimento con cloruro de polialuminio, verificó la efectividad del tratamiento mediante las variables respuesta porcentaje de reducción del aluminio residual en el agua. Se encontró que una dosis de 11 mg/L de policloruro de aluminio generó una remoción de la turbidez de 92,11% y una remoción de color de 82,29%, así como la reducción del aluminio residual. Asimismo, Galvis y Marín (2020) aseveraron el Policloruro de aluminio tiene una eficiencia mayor; en el 51.32% en remover el aluminio residual y en el 52.20% el Sulfato de Aluminio tuvo una mayor eficiencia en la remoción de color y el policloruro de aluminio tuvo una eficiencia del 81.12% en la remoción de la turbidez. Se concluyó que el policloruro de aluminio tuvo una mayor eficiencia en la remoción de la turbiedad y del aluminio residual.

En el tratamiento de agua cruda, se usan coagulantes para reducir el contenido de aluminio en el agua, ya que, al recolectar el agua cruda, este suele denotar componentes contaminantes y diversos minerales que no permiten su consumo libre. Por tanto, el valor adecuado debe ser de 200, en el estudio desarrollado se identificó que añadir el PAC al agua permitió la reducción del aluminio residual en el agua cruda a una turbiedad de 53.9, 266 y 637 (De Vargas, 2004).

Finalmente, con respecto al sexto objetivo específico, se halló que el coagulante Cloruro de Polialuminio es menos factible económicamente que el Sulfato de Aluminio, ya que el cloruro de polialuminio tiene un precio de S/ 7.17.00 por kg y el sulfato de aluminio S/ 2.92 por kilo. Este hallazgo fue similar al de Asenjo (2020), quien evaluó económicamente el costo del tratamiento de potabilización del agua de un río empleando ambos coagulantes. Se demostró que el tratamiento con policloruro de aluminio reporta un costo 42.9% menor al costo registrado por el tratamiento con sulfato de aluminio,

siempre que el nivel de turbidez sea alto. En similar línea, Medina (2021) mediante un experimento halló que el sulfato de aluminio tipo A tuvo una mejor efectividad al reducir la turbidez y es más económico, para niveles e turbidez baja. En base a lo mencionado, se sugiere realizar una investigación más profunda sobre los costos del cloruro de polialuminio, según el nivel de turbidez y en grandes cantidades de agua.

CONCLUSIONES

- Según el objetivo general, se determinó que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. cloruro de polialuminio añadido al agua permitió la reducción del aluminio residual en el agua cruda a una turbiedad de 53.9, 266 y 637. Asimismo, al añadir 5 ppm, 15 ppm y 60 ppm de sulfato de aluminio; o 35 ppm de cloruro de polialuminio se reduce la alcalinidad en el agua y se logró reducir la turbiedad final al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio. Por otro lado, permite remover en mayor porcentaje la cantidad de partículas contaminantes que se puede encontrar en el agua cruda y añadir el cloruro de polialuminio para mejorar la separación de sólidos del agua y del coagulante. También, para dejar el agua cristalina y reducir la acidez del agua, usando cloruro de polialuminio en agua cruda.
- Según el primer objetivo específico, el halló que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. Ya que para reducir la turbiedad del agua inicial a 53.9, se debe añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio o sulfato de aluminio. Semejantes resultados, trae consigo añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio a agua con una turbiedad inicial de 266. Finalmente, en agua con una turbiedad de 637, se debe añadir 75 ppm de sulfato de aluminio o cloruro de aluminio. En base a estos hallazgos, se logró reducir la turbiedad final al añadir 75 ppm de cloruro de polialuminio
- Según el segundo objetivo específico, se analizó que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. Dado que, cuando el agua se encuentra a una turbiedad inicial de 53.9, media del pH se encuentra entre 7 y 8, cuando se añade 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de aluminio. En cambio, en agua con turbiedad inicial de 266, la media del pH se y ubica entre 7 y 8, al añadir 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de sulfato de aluminio. En aguas con turbiedad inicial de

637, se obtiene una media entre 7 y 8 al añadir 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio. Dichos hallazgos evidenciaron la efectividad para reducir la acidez del agua, usando dichos componentes en agua turbia.

- Según el tercer objetivo específico, se comparó que el coagulante Cloruro de Polialuminio no es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. Si el agua denota una turbiedad de 53.9, se considera pertinente añadir sulfato de aluminio al 5 ppm y 35 ppm para reducir la alcalinidad del agua. Asimismo, si el agua cruda evidencia una turbiedad de 266, es adecuado añadir sulfato de aluminio al 5 ppm y 15 ppm, también, es factible añadir 5 ppm de cloruro de polialuminio. Por otro lado, si el agua muestra una turbiedad de 637, se debe añadir 5 ppm, 15 ppm y 60 ppm de sulfato de aluminio; o 35 ppm de cloruro de polialuminio para reducir la alcalinidad en el agua
- Según el cuarto objetivo específico, se identificó que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. Se ha identificado que añadir cloruro de polialuminio permite mejorar el agua, ya que al añadir 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm al agua cruda, se logra una media de 10, lo cual significa que el agua se encuentra excelente, pues el floc deposita todo y deja al agua cristalina, cuando se encuentra a una turbiedad de 53.9. En el caso de agua con una turbiedad de 266, añadir 50 ppm, 60 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio, también se obtiene una media de 10. Y, en aguas con una turbiedad de 637, es pertinente añadir 5 ppm, 15 ppm, 35 ppm, 50 ppm o 75 ppm de cloruro de polialuminio para dejar el agua cristalina.
- Según el quinto objetivo específico, se halló que el coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024. Pues cuando la turbiedad el agua este a 53.9, se considera con mayor pertinencia añadir sulfato de aluminio a 5 ppm y cloruro de polialuminio a 5 ppm, 15 ppm y 35 ppm. Por

el contrario, si la turbiedad del agua está a 266, se debe añadir sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio al 75 ppm. Y, si la turbiedad del agua está a 637, se debe añadir cloruro de polialuminio a 5 ppm y 50 ppm. Por tanto, el cloruro de polialuminio añadido al agua permitió la reducción del aluminio residual en el agua cruda a una turbiedad de 53.9, 266 y 637.

- Según el sexto objetivo específico, se determinó que el coagulante Cloruro de Polialuminio es menos factible económicamente que el Sulfato de Aluminio, porque el cloruro de polialuminio tiene un precio de S/7.17 por kg y el sulfato de aluminio S/ 2.92 por kg.

RECOMENDACIONES

- A PTAP de Seda Huánuco, considerar los hallazgos de la tesis para implementar el coagulante Cloruro de Polialuminio en el proceso de coagulación del agua cruda y mejorar el proceso de potabilización, siendo sumamente beneficioso para la comunidad.
- A las autoridades de Huánuco, implementar el coagulante Cloruro de Polialuminio para remover la concentración de turbidez del agua cruda que posee en su localidad y mejorar su calidad para el consumo de toda la población.
- A los ingenieros ambientales, hacer uso del coagulante Cloruro de Polialuminio para disminuir el pH en el proceso de coagulación del agua cruda, de este modo, conseguirán reducir la acidez que evidencia y mejorar sus propiedades hasta que sea apta para el consumo humano.
- A los docentes de ingeniería ambiental, promover el desarrollo de más investigaciones sobre el uso del coagulante Cloruro de Polialuminio para remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda, lo cual permitirá verificar su efectividad.
- A los estudiantes de ingeniería ambiental, mantenerse en constante capacitación sobre la efectividad del coagulante Cloruro de Polialuminio para reducir el índice de Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda. Esto permitirá que se encuentren preparados para sus prácticas y consigan obtener un agua mucho más cristalina.
- Al PTAP de Seda Huánuco, implementar el coagulante Cloruro de Polialuminio para disminuir el nivel de concentración de aluminio y mejorar la calidad de agua que brinda a la comunidad.
- A responsable de PTAP de Seda Huánuco, hacer uso del coagulante Cloruro de Polialuminio ya que es más factible económicamente que el Sulfato de Aluminio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghyani, R., Bidhendi, G., & Mehrdadi, N. (2023). Comparative study of Poly Aluminum Ferric and Poly Aluminum Chloride Performance for Turbidity Removal from River Water. *Environmental Energy and Economic Research*, 7(3), 1-7. doi:10.22097/EEER.2023.393733.1287
- ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima, Perú: Autoridad Nacional de Agua. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua, coagulación y floculación*. Lima, Perú: SEDAPAL.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 1* (Tercera ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206.
- Asenjo, O. (2020). *Remoción de sustancias húmicas de las aguas del río Nanay (Loreto) empleando el policloruro de aluminio como coagulante alternativo*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental, Unidad de Posgrado. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/21290>
- Asyura, A., Farhan, N., & Balqis, H. (2022). The efficiency assessment of Poly-Aluminium Chloride (PAC) in water treatment plant process: a case study at Sultan Iskandar Water Treatment Plant, Johor. *Journal of Sustainable Civil Engineering and Technology*, 1(2), 8-16. Obtenido de <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/67467/>
- Avellaneda, R., Peñataro, P., & Martín, M. (2011). *El agua es vida: Cuidado y gestión sostenible, de las fuentes tradicionales de agua en comunidades rurales amazónicas* (Primera ed.). Iquitos, Perú: Ministerio del Ambiente: Proyecto Araucaria XXI Nauta.

- Chele, Y. (2019). *Determinación de la dosis del coagulante sulfato de aluminio Tipo A para el tratamiento de agua potable en la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Sucúa*. Macas, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ciencias Químicas. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13199>
- Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*(29), 153-170. doi:<https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
- Consulting Environment. (2023). *Ficha técnica de insumos*. Consulting Environment.
- Crespo, V. (2021). *Análisis comparativo entre el Hidroxicloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio como alternativa coagulante en la Planta de tratamiento de agua potable MAHUARCAY en la ciudad de Azogues*. Milagro, Ecuador: Universidad Estatal de Milagro, Dirección de Investigación y Posgrado, Magíster en Química Aplicada. Obtenido de <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/7009>
- DIGESA. (2010). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. Lima: Dirección General de Salud Ambiental.
- El Foulani, A.-A., Jamal-eddine, J., & Lekhlif, B. (2022). Study of aluminium speciation in the coagulant composite of polyaluminium chloride-chitosan for the optimization of drinking water treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 158, 400-408. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.028>
- EPS Seda Huánuco S.A. (2023). *Manual de operación, mantenimiento y control de calidad de la PTAP N° 01*. Huánuco: EPS Seda Huánuco S.A.
- Espinoza, C. (2010). *Metodología de investigación tecnológica* (Primera ed.). Huancayo, Perú: Espinoza Montes, Ciro.
- Espinoza, C. (2010). *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo, Perú.

- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Revista química viva*, 11(3), 147-170.
- Galvis, J., & Marín, M. (2020). *Comparación de la eficiencia de remoción del coagulante sulfato de aluminio frente al coagulante policloruro de aluminio (PAC) para tratamiento de agua potable*. Socorro, Colombia: Universidad Libre, Facultad de Ingenierías y Ciencias Agropecuarias, Especialización en Gestión Ambiental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10901/24256>
- García, M., Darío, F., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Cortés, G. (1998). El agua. En P. Leyva, *El medio ambiente en Colombia* (págs. 114-189). Colombia: IDEAM.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Kiuchi, R. (2022). *Evaluación de la concentración del aluminio residual en lodos del decantador y filtros que vierte al río Higuera la planta de tratamiento de agua potable Cabritopampa de la EPS Seda Huánuco-2019*. Huánuco: Universidad de Huánuco, Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Ambiental. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3363>
- La fundación del Agua. (15 de diciembre de 2021). *La fundación del Agua*. Obtenido de Aquae ODS: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/caracteristicas-agua-potable/>
- 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*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Química. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12922>
- MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima: Ministerio del Ambiente.

- Owusu, S., Buamah, R., & Atebiya, J. (julio de 2021). Polyaluminium chloride dosing effects on coagulation performance: case study, Barekese, Ghana. *Water Practice & Technology*, 16(4), 1215–1223. doi:<https://doi.org/10.2166/wpt.2021.069>
- Perozo, J., & Abreu, R. (2017). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *Química vica*, 16(1), 56-69.
- RAE. (2014). *Diccionario de la Lengua Española*. España: Real Academia Española.
- Ramos, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1-7. doi:10.33210/ca.v10i1.356.
- Rodríguez, Y. (2020). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México, México: KLIK SOLUCIONES EDUCATIVAS.
- Sandoval, M., & Laines, J. (mayo-agosto de 2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93-101.
- Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies. (2023). *Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies*. Obtenido de Shijiazhuang Xingzhong Water Technologies: <https://es.xzbiosludge.com/products/poly-aluminium-chloride.html>
- SUNASS. (2004). *Análisis de la calidad del agua potable en las empresas prestadoras del Perú: 1995-2003*. Lima, Perú: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
- SUNASS. (22 de Junio de 2023). *Gob.pe*. Obtenido de *Gob.pe*: <https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/781301-el-10-la-poblacion-peruana-no-tiene-agua-potable-y-23-no-accede-al-alcantarillado>
- Teguh, D., Agustina, T., Ridho, M., Febriyanti, N., & Ermaya, D. (marzo de 2022). The Effectiveness and Cost Optimization of Coagulant Aluminum Chlorohydrate (ACH), Aluminum Sulfate (AS), and Poly Aluminium Chloride (PAC) in Coagulation Process at The PT. Pupuk

Sriwijaya (PT. Pusri) Utility Unit. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 6(1), 189-195. doi:<https://doi.org/10.26554/ijems.2022.6.1.189-195>

Yann, T., Miyanaga, K., & Tan, R. (2020). The effectiveness of different types of Polyaluminum Chloride (PAC) and Aluminum Sulfate (alum) with $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ dosing for treatment of surface water of Tonle Sap River. *The 13th AUN/SEED-Net Regional Conference on Chemical Engineering 2020 (RCChE-2020)*, (págs. 1-6). Phnom Penh, Camboya.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Agustín Céspedes, A. (2025). *Evaluación de dos coagulantes: cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la Ptap de Seda Huánuco 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “Evaluación de dos coagulantes: Cloruro de polialuminio y Sulfato de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de SEDA HUÁNUCO 2024”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	Variable independiente:	Enfoque de investigación:	Población:
¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?	Determinar que coagulante: Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	Coagulantes	Cuantitativo	Agua Cruda del Río
			Variable dependiente:	Nivel de investigación:	Higueras del día del tratamiento
			Coagulación del agua cruda	Explicativo	Muestra:
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		Método general:	24 litros de
¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para remover la concentración de turbidez en el proceso de	Contrastar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y del Sulfato de Aluminio en la remoción de la concentración de turbidez en el proceso de	El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de turbidez en el proceso de		Método experimental	agua cruda del día del tratamiento
				Diseño:	Muestreo:

coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?	coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	diseño experimental de comparación del efecto de dos coagulantes sobre la coagulación del agua cruda	No probabilístico Técnicas: La observación Instrumentos: Ficha de recolección de datos
¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente en la disminución del pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?	Analizar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la disminución del pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio a la disminución el pH en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.		
¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?	Comparar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la remoción de la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al remover la concentración de alcalinidad en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.		
¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para reducir el índice de Willcomb	Contrastar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la reducción del índice de	El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al reducir el índice de Willcomb en		

en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?	Willcomb en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.
¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o Sulfato de Aluminio es más eficiente para disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024?	Analizar la eficiencia del Cloruro de Polialuminio y el Sulfato de Aluminio en la disminución del nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.	El coagulante Cloruro de Polialuminio es más eficiente que el Sulfato de Aluminio al disminuir el nivel de concentración de aluminio en el proceso de coagulación del agua cruda en la PTAP de Seda Huánuco 2024.
¿Qué coagulante Cloruro de Polialuminio o el Sulfato de Aluminio es más factible económicamente?	Determinar si el Cloruro de Polialuminio o el Sulfato de Aluminio es más factible económicamente.	El coagulante Cloruro de Polialuminio es más factible económicamente que el Sulfato de Aluminio.

ANEXO 2

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD DE HUANUCO FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE DOS COAGULANTES: CLORURO DE POLIALUMINIO Y SULFATO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN DEL AGUA CRUDA EN LA PTAP DE SEDA HUÁNUCO 2024"
INVESTIGADOR:	BACH. AGUSTIN CESPEDES, ALEXANDRA

SULFATO DE ALUMINIO TIPO A

FORMATO DE PRUEBA DE JARRAS

FECHA :

HORA :

JARRA N°									
AGUA CRUDA.		DOSIFICACIÓN.		OBSERVACIONES		AGUA DECANTADA			
PARAMETROS A EVALUAR		MEZCLA RÁPIDA		VOLUMEN DE JARRAS		FLOCULACIÓN		DECANTACIÓN	
Turbiedad (UNT)		Tiempo: 5 s		2000 ml		Tiempo Floc: 15 min		Tiempo Dec: 15 min	
pH						Velocidad: 70 rpm			
Alcalinidad		Velocidad: 300 rpm				Velocidad: 40 rpm		Altura Dec: 5 m	
Aluminio:						Velocidad: 20 rpm			
FUENTE: AGUAS DEL RIO HUIGUERAS	N° JARRA	Sulfato de Aluminio (Tipo A) al 1%		Tiempo de formación del floc, (seg)	Índice de Wilcomb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad(CaCO3 mg/L)
		(ml)	(mg/l o ppm)						
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
6									
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 de tamaño relativamente grande pero que precipitan con lentitud.								
8	Bueno: floc que se deposita facil pero no completamente.								
10	Excelente: floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina.								

CLORURO DE POLIALUMINIO

FORMATO DE PRUEBA DE JARRAS

FECHA :

HORA :

JARRA N°									
AGUA CRUDA.		DOSIFICACIÓN.		OBSERVACIONES		AGUA DECANTADA			
PARAMETROS A EVALUAR		MEZCLA RÁPIDA		VOLUMEN DE JARRAS		FLOCULACIÓN		DECANTACIÓN	
Turbiedad (UNT)		Tiempo: 5 s		2000 ml		Tiempo Floc: 15 min		Tiempo Dec: 15 min	
pH						Velocidad: 70 rpm			
Alcalinidad		Velocidad: 300 rpm				Velocidad: 40 rpm		Altura Dec: 5 m	
Aluminio:						Velocidad: 20 rpm			
FUENTE: AGUAS DEL RIO HUIGUERAS	N° JARRA	Cloruro de Polialuminio (PAC) al 1%		Tiempo de formación del floc, (seg)	Índice de Wilcomb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad(CaCO3 mg/L)
		(ml)	(mg/l o ppm)						
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
6									
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 de tamaño relativamente grande pero que precipitan con lentitud.								
8	Bueno: floc que se deposita facil pero no completamente.								
10	Excelente: floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina.								

ANEXO 3

DATOS

Ensayo 1: Sulfato de aluminio

Ensayo 2: Cloruro de polialuminio (PAC)

Ensayo	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	(ml)	Dosis (mg/l o ppm)	Tiempo de formación del floc. (seg)	Índice de Wilco mb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)	% REMOCIÓN
1	53.9	1	1	5	37	4	7.82	9.8	0.041	70	33.4	38.03
1	53.9	1	1	5	37	4	7.82	9.8	0.041	73	32.7	39.33
1	53.9	1	1	5	37	4	7.82	9.8	0.04	75	32.3	40.07
1	53.9	2	3	15	33	6	7.52	3.59	0.045	75	25.8	52.13
1	53.9	2	3	15	33	6	7.52	3.59	0.047	77	27.2	49.53
1	53.9	2	3	15	33	6	7.52	3.59	0.044	79	26.1	51.57
1	53.9	3	7	35	25	10	7.37	0.948	0.046	84	17.0	68.46
1	53.9	3	7	35	25	10	7.37	0.948	0.045	76	17.0	68.46
1	53.9	3	7	35	25	10	7.37	0.948	0.048	74	17.0	68.46
1	53.9	4	10	50	19	10	7.25	0.73	0.046	75	13.1	75.69
1	53.9	4	10	50	19	10	7.25	0.73	0.045	80	13.3	75.32
1	53.9	4	10	50	19	10	7.25	0.73	0.047	82	12.9	76.06

Ensayo	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	(ml)	Dosis (mg/l o ppm)	Tiempo de formación del floc. (seg)	Índice de Wilco mb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)	% REMOCIÓN
1	53.9	5	12	60	15	10	7.20	0.59	0.045	78	10.8	79.96
1	53.9	5	12	60	15	10	7.20	0.59	0.045	76	10.8	79.96
1	53.9	5	12	60	15	10	7.20	0.59	0.044	86	10.8	79.96
1	53.9	6	15	75	9	10	7.15	0.46	0.042	80	6.9	87.19
1	53.9	6	15	75	9	10	7.15	0.46	0.043	88	7.1	86.82
1	53.9	6	15	75	9	10	7.15	0.46	0.042	76	6.7	87.56
1	266	7	1	5	34	2	7.73	85.75	0.069	74	161.4	39.32
1	266	7	1	5	34	2	7.73	85.75	0.065	77	166.7	37.33
1	266	7	1	5	34	2	7.73	85.75	0.07	75	168.5	36.65
1	266	8	3	15	30	2	7.5	8.30	0.071	76	128.6	51.65
1	266	8	3	15	30	2	7.5	8.30	0.075	75	131.5	50.56
1	266	8	3	15	30	2	7.5	8.30	0.07	78	125.6	52.78
1	266	9	7	35	21	8	7.34	2.77	0.076	80	85.1	68
1	266	9	7	35	21	8	7.34	2.77	0.072	79	85.1	68
1	266	9	7	35	21	8	7.34	2.77	0.074	82	86.2	67.59
1	266	10	10	50	14	8	7.26	1.98	0.074	83	63.8	76.01
1	266	10	10	50	14	8	7.26	1.98	0.072	80	65.6	75.33
1	266	10	10	50	14	8	7.26	1.98	0.075	82	66.5	75
1	266	11	12	60	9	10	7.23	2.05	0.071	78	54.0	79.69

Ensayo	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	(ml)	Dosis (mg/l o ppm)	Tiempo de formación del floc. (seg)	Índice de Wilco mb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)	% REMOCIÓN
1	266	11	12	60	9	10	7.23	2.05	0.074	80	52.4	80.3
1	266	11	12	60	9	10	7.23	2.05	0.07	77	51.7	80.56
1	266	12	15	75	5	10	7.18	2.08	0.69	84	31.9	88
1	266	12	15	75	5	10	7.18	2.08	0.072	86	35.6	86.61
1	266	12	15	75	5	10	7.18	2.08	0.071	86	32.5	87.78
1	637	13	1	5	32	2	8.70	170.4	0.081	60	386.4	39.34
1	637	13	1	5	32	2	8.70	170.4	0.08	62	403.4	36.67
1	637	13	1	5	32	2	8.70	170.4	0.084	59	399.2	37.33
1	637	14	3	15	28	4	8.13	20.96	0.083	62	307.9	51.66
1	637	14	3	15	28	4	8.13	20.96	0.086	64	300.8	52.77
1	637	14	3	15	28	4	8.13	20.96	0.082	63	300.8	52.77
1	637	15	7	35	20	6	7.71	9.81	0.086	65	203.8	68
1	637	15	7	35	20	6	7.71	9.81	0.087	67	208.9	67.2
1	637	15	7	35	20	6	7.71	9.81	0.085	63	201.3	68.39
1	637	16	10	50	14	8	7.56	3.05	0.083	67	150.8	76.32
1	637	16	10	50	14	8	7.56	3.05	0.085	65	157.1	75.33
1	637	16	10	50	14	8	7.56	3.05	0.086	66	155.0	75.66
1	637	17	12	60	10	8	7.47	2.83	0.086	62	123.8	80.56
1	637	17	12	60	10	8	7.47	2.83	0.085	65	129.2	79.71

Ensayo	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	(ml)	Dosis (mg/l o ppm)	Tiempo de formación del floc. (seg)	Índice de Wilco mb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)	% REMOCIÓN
1	637	17	12	60	10	8	7.47	2.83	0.087	62	127.4	80
1	637	18	15	75	4	10	7.36	2.64	0.082	72	81.5	87.2
1	637	18	15	75	4	10	7.36	2.64	0.083	68	80.3	87.39
1	637	18	15	75	4	10	7.36	2.64	0.084	66	79.0	87.59
2	53.9	1	1	5	32	6	7.89	4.5	0.039	79	32.0	40.66
2	53.9	1	1	5	32	6	7.89	4.5	0.042	82	33.4	38.06
2	53.9	1	1	5	32	6	7.89	4.5	0.042	80	30.3	43.77
2	53.9	2	3	15	23	10	7.76	1.17	0.043	83	22.6	58.05
2	53.9	2	3	15	23	10	7.76	1.17	0.041	84	23.7	56.11
2	53.9	2	3	15	23	10	7.76	1.17	0.039	82	24.6	54.4
2	53.9	3	7	35	9	10	7.65	0.59	0.038	80	15.1	72.01
2	53.9	3	7	35	9	10	7.65	0.59	0.041	83	14.8	72.56
2	53.9	3	7	35	9	10	7.65	0.59	0.043	82	14.4	73.2
2	53.9	4	10	50	5	10	7.61	0.46	0.044	85	10.7	80.18
2	53.9	4	10	50	5	10	7.61	0.46	0.042	80	10.4	80.79
2	53.9	4	10	50	5	10	7.61	0.46	0.044	82	11.2	79.14
2	53.9	5	12	60	3	10	7.59	0.4	0.041	82	8.8	83.68
2	53.9	5	12	60	3	10	7.59	0.4	0.045	80	8.2	84.78
2	53.9	5	12	60	3	10	7.59	0.4	0.043	83	9.1	83.18

Ensayo	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	(ml)	Dosis (mg/l o ppm)	Tiempo de formación del floc. (seg)	Índice de Wilco mb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)	% REMOCIÓN
2	53.9	6	15	75	1	10	7.56	0.34	0.047	81	5.2	90.4
2	53.9	6	15	75	1	10	7.56	0.34	0.042	86	4.1	92.35
2	53.9	6	15	75	1	10	7.56	0.34	0.046	84	4.5	91.68
2	266	7	1	5	31	6	7.8	24.5	0.083	78	160.7	39.57
2	266	7	1	5	31	6	7.8	24.5	0.081	80	149.9	43.65
2	266	7	1	5	31	6	7.8	24.5	0.082	77	153.2	42.39
2	266	8	3	15	23	6	7.61	2.37	0.086	80	111.4	58.11
2	266	8	3	15	23	6	7.61	2.37	0.087	83	117.6	55.78
2	266	8	3	15	23	6	7.61	2.37	0.085	79	127.4	52.09
2	266	9	7	35	7	8	7.48	0.96	0.083	82	78.2	70.58
2	266	9	7	35	7	8	7.48	0.96	0.085	81	68.3	74.32
2	266	9	7	35	7	8	7.48	0.96	0.082	84	78.2	70.58
2	266	10	10	50	3	10	7.42	0.82	0.086	80	54.2	79.62
2	266	10	10	50	3	10	7.42	0.82	0.088	83	53.9	79.75
2	266	10	10	50	3	10	7.42	0.82	0.083	79	50.1	81.16
2	266	11	12	60	2	10	7.39	0.54	0.087	81	33.4	87.42
2	266	11	12	60	2	10	7.39	0.54	0.088	85	45.1	83.02
2	266	11	12	60	2	10	7.39	0.54	0.084	82	37.5	85.91
2	266	12	15	75	1	10	7.35	0.42	0.086	84	24.1	90.95

Ensayo	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	(ml)	Dosis (mg/l o ppm)	Tiempo de formación del floc. (seg)	Índice de Wilco mb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)	% REMOCIÓN
2	266	12	15	75	1	10	7.35	0.42	0.89	80	21.2	92.01
2	266	12	15	75	1	10	7.35	0.42	0.088	85	22.1	91.69
2	637	13	1	5	22	8	7.97	42.6	0.075	66	356.6	44.01
2	637	13	1	5	22	8	7.97	42.6	0.078	64	375.3	41.08
2	637	13	1	5	22	8	7.97	42.6	0.077	68	380.1	40.33
2	637	14	3	15	18	10	7.83	5.24	0.08	65	286.9	54.95
2	637	14	3	15	18	10	7.83	5.24	0.076	68	285.4	55.2
2	637	14	3	15	18	10	7.83	5.24	0.078	68	296.2	53.5
2	637	15	7	35	10	10	7.74	1.38	0.078	63	168.1	73.6
2	637	15	7	35	10	10	7.74	1.38	0.077	66	181.7	71.47
2	637	15	7	35	10	10	7.74	1.38	0.081	62	170.6	73.22
2	637	16	10	50	4	10	7.68	1.2	0.082	67	115.4	81.87
2	637	16	10	50	4	10	7.68	1.2	0.076	66	121.8	80.87
2	637	16	10	50	4	10	7.68	1.2	0.074	67	124.3	80.48
2	637	17	12	60	1	10	7.66	0.86	0.081	62	94.5	85.15
2	637	17	12	60	1	10	7.66	0.86	0.08	68	88.1	86.17
2	637	17	12	60	1	10	7.66	0.86	0.076	65	92.8	85.43
2	637	18	15	75	1	10	7.63	0.76	0.083	69	55.4	91.31
2	637	18	15	75	1	10	7.63	0.76	0.078	65	46.9	92.63

Ensayo	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	(ml)	Dosis (mg/l o ppm)	Tiempo de formación del floc. (seg)	Índice de Wilco mb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)	% REMOCIÓN
2	637	18	15	75	1	10	7.63	0.76	0.077	63	63.6	90.01

ANEXO 4

RESULTADOS DE LABORATORIO



EPS SEDA HUÁNUCO S.A.



INFORME DE ENSAYO N°001-2024

CLIENTE	: Alexandra Agustín Céspedes
DOMICILIO LEGAL	: Psj. Santa Lucia Mz A Lt 2 Comité 14
ORDEN DE SERVICIO N°	: 00108355
REFERENCIA DEL CLIENTE	: Analisis Fisico-Quimico
NOMBRE DE LA FUENTE	: Agua Superficial del Rio Higuera Captados en los Sistemas de la PTAP
CANTIDAD DE MUESTRA	: 54 Mediciones
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA	: 05/04/2024
FECHA DE INICIO DE ANALISIS	: 08/04/2024
FECHA DE TERMINO	: 09/04/2024
PERIODO DE ENSAYO	: 2 Dias.
TOMA DE MUESTRA	: El Interesado
CONDICIONES DE LA MUESTRA	: Los Resultados Obtenidos Fueron Medidos en Campo y Laboratorio
ENSAYO REALIZADO POR	: Blgo David Elias Rodriguez Villavicencio.
METODO DE ENSAYO DE ALUMINIO	: Metodo Colorimetrico con ECR
METODO DE ENSAYO DE ALCALINIDAD	: Metodo Volumetrico

I. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Ensayo	N°	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	Sulfato de Aluminio al 1%		Tiempo de formación del floc, (seg)	Indice de Willcomb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)
				(ml)	(mg/l o ppm)							
1	1	53.9	1	1	5	37	4	7.82	9.80	0.041	70	33.4
1	2	53.9	1	1	5	37	4	7.82	9.80	0.041	73	32.7
1	3	53.9	1	1	5	37	4	7.82	9.80	0.040	75	32.3
1	4	53.9	2	3	15	33	6	7.52	3.59	0.045	75	25.8
1	5	53.9	2	3	15	33	6	7.52	3.59	0.047	77	27.2
1	6	53.9	2	3	15	33	6	7.52	3.59	0.044	79	26.1
1	7	53.9	3	7	35	25	10	7.37	0.95	0.046	84	17.0
1	8	53.9	3	7	35	25	10	7.37	0.95	0.045	76	17.0
1	9	53.9	3	7	35	25	10	7.37	0.95	0.048	74	17.0
1	10	53.9	4	10	50	19	10	7.25	0.73	0.046	75	13.1
1	11	53.9	4	10	50	19	10	7.25	0.73	0.045	80	13.3
1	12	53.9	4	10	50	19	10	7.25	0.73	0.047	82	12.9
1	13	53.9	5	12	60	15	10	7.20	0.59	0.045	78	10.8
1	14	53.9	5	12	60	15	10	7.20	0.59	0.045	76	10.8
1	15	53.9	5	12	60	15	10	7.20	0.59	0.044	86	10.8
1	16	53.9	6	15	75	9	10	7.15	0.46	0.042	80	6.9
1	17	53.9	6	15	75	9	10	7.15	0.46	0.043	88	7.1
1	18	53.9	6	15	75	9	10	7.15	0.46	0.042	76	6.7
1	19	266	7	1	5	34	2	7.73	85.75	0.069	74	161.4
1	20	266	7	1	5	34	2	7.73	85.75	0.065	77	166.7
1	21	266	7	1	5	34	2	7.73	85.75	0.070	75	168.5
1	22	266	8	3	15	30	2	7.50	8.30	0.071	76	128.6
1	23	266	8	3	15	30	2	7.50	8.30	0.075	75	131.5
1	24	266	8	3	15	30	2	7.50	8.30	0.070	78	125.6
1	25	266	9	7	35	21	8	7.34	2.77	0.076	80	85.1
1	26	266	9	7	35	21	8	7.34	2.77	0.072	79	85.1
1	27	266	9	7	35	21	8	7.34	2.77	0.074	82	86.2
1	28	266	10	10	50	14	8	7.26	1.98	0.074	83	63.8
1	29	266	10	10	50	14	8	7.26	1.98	0.072	80	65.6
1	30	266	10	10	50	14	8	7.26	1.98	0.075	82	66.5
1	31	266	11	12	60	9	10	7.23	2.05	0.071	78	54.0
1	32	266	11	12	60	9	10	7.23	2.05	0.074	80	52.4
1	33	266	11	12	60	9	10	7.23	2.05	0.070	77	51.7
1	34	266	12	15	75	5	10	7.18	2.08	0.690	84	31.9
1	35	266	12	15	75	5	10	7.18	2.08	0.072	86	35.6

1	36	266	12	15	75	5	10	7.18	2.08	0.071	86	32.5
1	37	637	13	1	5	32	2	8.70	170.40	0.081	60	386.4
1	38	637	13	1	5	32	2	8.70	170.40	0.080	62	403.4
1	39	637	13	1	5	32	2	8.70	170.40	0.084	59	399.2
1	40	637	14	3	15	28	4	8.13	20.96	0.083	62	307.9
1	41	637	14	3	15	28	4	8.13	20.96	0.086	64	300.8
1	42	637	14	3	15	28	4	8.13	20.96	0.082	63	300.8
1	43	637	15	7	35	20	6	7.71	9.81	0.086	65	203.8
1	44	637	15	7	35	20	6	7.71	9.81	0.087	67	208.9
1	45	637	15	7	35	20	6	7.71	9.81	0.085	63	201.3
1	46	637	16	10	50	14	8	7.56	3.05	0.083	67	150.8
1	47	637	16	10	50	14	8	7.56	3.05	0.085	65	157.1
1	48	637	16	10	50	14	8	7.56	3.05	0.086	66	155.0
1	49	637	17	12	60	10	8	7.47	2.83	0.086	62	123.8
1	50	637	17	12	60	10	8	7.47	2.83	0.085	65	129.2
1	51	637	17	12	60	10	8	7.47	2.83	0.087	62	127.4
1	52	637	18	15	75	4	10	7.36	2.64	0.082	72	81.5
1	53	637	18	15	75	4	10	7.36	2.64	0.083	68	80.3
1	54	637	18	15	75	4	10	7.36	2.64	0.084	66	79.0



Huánuco 22 de abril del

David Elias Rodriguez Villavicencio
 Rdo. David Elias Rodriguez Villavicencio



EPS SEDA HUÁNUCO S.A.



INFORME DE ENSAYO N°002-2024

CLIENTE : Alexandra Agustín Céspedes
DOMICILIO LEGAL : Psj. Santa Lucia Mz A Lt 2 Comité 14
ORDEN DE SERVICIO N° : 00108355
REFERENCIA DEL CLIENTE : Analisis Fisico-Quimico
NOMBRE DE LA FUENTE : Agua Superficial del Rio Higuera Captados en los Sistemas de la PTAP
CANTIDAD DE MUESTRA : 54 Mediciones
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 05/04/2024
FECHA DE INICIO DE ANALISIS : 08/04/2024
FECHA DE TERMINO : 09/04/2024
PERIODO DE ENSAYO : 2 Dias.
TOMA DE MUESTRA : El Interesado
CONDICIONES DE LA MUESTRA : Los Resultados Obtenidos Fueron Medidos en Campo - Laboratorio
ENSAYO REALIZADO POR : Blgo David Elias Rodriguez Villavicencio.
METODO DE ENSAYO DE ALUMINIO : Metodo Colorimetrico con ECR
METODO DE ENSAYO DE ALCALINIDAD : Metodo volumetrico.

I. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Ensayo	N°	Turbiedad (UNT)	N° JARRA	Cloruro de Polialuminio (PAC) al 1%		Tiempo de formación del floc. (seg)	Indice de Willcomb	pH	Dosis Optima	Aluminio Residual (mg/L)	Alcalinidad (CaCO3 mg/L)	Turbiedad final (NTU)
				(ml)	(mg/l o ppm)							
2	1	53.9	1	1	5	32	6	7.89	4.50	0.039	79	32.0
2	2	53.9	1	1	5	32	6	7.89	4.50	0.042	82	33.4
2	3	53.9	1	1	5	32	6	7.89	4.50	0.042	80	30.3
2	4	53.9	2	3	15	23	10	7.76	1.17	0.043	83	22.6
2	5	53.9	2	3	15	23	10	7.76	1.17	0.041	84	23.7
2	6	53.9	2	3	15	23	10	7.76	1.17	0.039	82	24.6
2	7	53.9	3	7	35	9	10	7.65	0.59	0.038	80	15.1
2	8	53.9	3	7	35	9	10	7.65	0.59	0.041	83	14.8
2	9	53.9	3	7	35	9	10	7.65	0.59	0.043	82	14.4
2	10	53.9	4	10	50	5	10	7.61	0.46	0.044	85	10.7
2	11	53.9	4	10	50	5	10	7.61	0.46	0.042	80	10.4
2	12	53.9	4	10	50	5	10	7.61	0.46	0.044	82	11.2
2	13	53.9	5	12	60	3	10	7.59	0.40	0.041	82	8.8
2	14	53.9	5	12	60	3	10	7.59	0.40	0.045	80	8.2
2	15	53.9	5	12	60	3	10	7.59	0.40	0.043	83	9.1
2	16	53.9	6	15	75	1	10	7.56	0.34	0.047	81	5.2
2	17	53.9	6	15	75	1	10	7.56	0.34	0.042	86	4.1
2	18	53.9	6	15	75	1	10	7.56	0.34	0.046	84	4.5
2	19	266	7	1	5	31	6	7.80	24.50	0.063	78	160.7
2	20	266	7	1	5	31	6	7.80	24.50	0.081	80	149.9
2	21	266	7	1	5	31	6	7.80	24.50	0.082	77	153.2
2	22	266	8	3	15	23	6	7.61	2.37	0.086	80	111.4
2	23	266	8	3	15	23	6	7.61	2.37	0.087	83	117.6
2	24	266	8	3	15	23	6	7.61	2.37	0.085	79	127.4
2	25	266	9	7	35	7	8	7.48	0.96	0.083	82	78.2
2	26	266	9	7	35	7	8	7.48	0.96	0.085	81	68.3
2	27	266	9	7	35	7	8	7.48	0.96	0.082	84	78.2
2	28	266	10	10	50	3	10	7.42	0.82	0.086	80	54.2
2	29	266	10	10	50	3	10	7.42	0.82	0.088	83	53.9
2	30	266	10	10	50	3	10	7.42	0.82	0.083	79	50.1
2	31	266	11	12	60	2	10	7.39	0.54	0.087	81	33.4
2	32	266	11	12	60	2	10	7.39	0.54	0.088	85	45.1
2	33	266	11	12	60	2	10	7.39	0.54	0.084	82	37.5

2	34	266	12	15	75	1	10	7.35	0.42	0.086	84	24.1
2	35	266	12	15	75	1	10	7.35	0.42	0.890	80	21.2
2	36	266	12	15	75	1	10	7.35	0.42	0.088	85	22.1
2	37	637	13	1	5	22	8	7.97	42.60	0.075	66	356.6
2	38	637	13	1	5	22	8	7.97	42.60	0.078	64	375.3
2	39	637	13	1	5	22	8	7.97	42.60	0.077	68	380.1
2	40	637	14	3	15	18	10	7.83	5.24	0.080	65	286.9
2	41	637	14	3	15	18	10	7.83	5.24	0.076	68	285.4
2	42	637	14	3	15	18	10	7.83	5.24	0.078	68	296.2
2	43	637	15	7	35	10	10	7.74	1.38	0.078	63	168.1
2	44	637	15	7	35	10	10	7.74	1.38	0.077	66	181.7
2	45	637	15	7	35	10	10	7.74	1.38	0.081	62	170.6
2	46	637	16	10	50	4	10	7.68	1.20	0.082	67	115.4
2	47	637	16	10	50	4	10	7.68	1.20	0.076	66	121.8
2	48	637	16	10	50	4	10	7.68	1.20	0.074	67	124.3
2	49	637	17	12	60	1	10	7.66	0.86	0.081	62	94.5
2	50	637	17	12	60	1	10	7.66	0.86	0.080	68	88.1
2	51	637	17	12	60	1	10	7.66	0.86	0.076	65	92.8
2	52	637	18	15	75	1	10	7.63	0.76	0.083	69	55.4
2	53	637	18	15	75	1	10	7.63	0.76	0.078	65	46.9
2	54	637	18	15	75	1	10	7.63	0.76	0.077	63	63.6



[Handwritten Signature]
 Bgo. David Elias Rodriguez Villavicencio

Huánuco 22 de abril del

ANEXO 5

CALIBRACIÓN DEL COLORÍMETRO

Oficina Comercial:
Parque Manuel González Prada 705
Magdalena del Mar, Lima 17 - Perú
Tel. (511) 204 5700
ventas@aqaquimica.com

Oficina Administrativa:
Av. General Garzón 2210
Jesús María, Lima 11 - Perú
Tel. (511) 512 2500
www.aqaquimica.com



CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

Número de Certificado ICH-052023-02

1. SOLICITANTE : SEDA HUANUCO S.A.
2. DIRECCIÓN : Jr. Damaso Beraun nro. 345, Huánuco, Huánuco.
3. INSTRUMENTO : COLORIMETRO
 - MARCA : Hach
 - MODELO : DR900
 - NÚMERO DE SERIE : 160630001007
 - IDENTIFICACIÓN : 150011057
 - ALCANCE : 420, 520, 560 y 610 nm
 - RESOLUCIÓN : 0.01
 - PROCEDENCIA : USA
4. UBICACIÓN : Laboratorio de AQA QUIMICA S.A.
5. FECHA DE VERIFICACIÓN : 2023-05-29
6. MÉTODO DE VERIFICACIÓN : La verificación se efectuó según PSI-IN-005 "Procedimiento de calibración y Verificación para medidores de colorimetría" de AQA Química S.A.
7. TRAZABILIDAD : Se utilizó los siguientes kits de estándares:

Patrón usado	Código Interno	N° de Lote	Vencimiento
Kit DR/Check	2763900	A2124	07/2024

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto verificado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario verificar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

AQA Química S.A. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la verificación aquí declarados.

Este certificado de verificación es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de verificación no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de AQA Química S.A.

José Lozada Ruiz
Servicio Técnico Hach

Código: PSI-FO-014
Versión: 001

Aprobado por: CC
UIT. Rev. 2012-06-25



Una empresa con Sistema
de Gestión de Calidad
Certificado ISO 9001

Oficina Comercial:
Parque Manuel González Prada 705
Magdalena del Mar, Lima 17 - Perú
Tel. (511) 204 5700
ventas@aqaquimica.com

Oficina Administrativa:
Av. General Gerván 2210
Jesús María, Lima 11 - Perú
Tel. (511) 512 2500
www.aqaquimica.com



8. CONDICIONES DE VERIFICACIÓN

Temperatura ambiental : 24 °C
Humedad Relativa : 52 %H.R.

9. RESULTADOS

Longitud de Onda (nm)	Valor Indicado (Abs)	Valor Referencia (Abs)	Error (Abs)	E.M.P. (Abs)
420	0.633	0.625	0.008	±0.050
	1.223	1.220	0.003	±0.100
	1.775	1.764	0.011	±0.150
520	0.631	0.625	0.006	±0.050
	1.220	1.230	-0.010	±0.100
	1.789	1.783	0.006	±0.150
560	0.637	0.641	-0.004	±0.050
	1.245	1.250	-0.005	±0.100
	1.821	1.830	-0.009	±0.150
610	0.622	0.614	0.008	±0.050
	1.203	1.191	0.012	±0.100
	1.769	1.730	0.039	±0.150

Valor de referencia = Valor Indicado - Error.

Código: PSI-FO-014
Versión: 001

Aprobado por: CC
Lit. Rev. 2012-06-26



Una empresa con Sistema
de Gestión de Calidad
Certificado ISO 9001

ANEXO 6

CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE PH

Oficina Comercial:
 Panque Manuel González Priada 706
 Magdalena del Mar, Lima 17 - Perú
 Tel: (511) 254 3706
 ventas@aqaquimica.com

Oficina Administrativa:
 Av. General Garión 2210
 Jesús María, Lima 11 - Perú
 Tel: (511) 512 2500
 www.aqaquimica.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° ICH-052023-19

1. SOLICITANTE	: SEDA HUANUCO S.A.	Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto. Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos en base en las características del trabajo realizado, al mantenimiento, conservación y al tiempo de uso del instrumento. AQA Química S.A. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de AQA Química S.A.																
2. DIRECCIÓN	: Jr. Damaso Beraun nro. 545, Huanuco, Huanuco.																	
3. INSTRUMENTO	: Medidor de pH																	
MARCA	: OAKTON																	
MODELO	: PH450																	
SERIE MEDIDOR	: 2488306																	
IDENTIFICACIÓN	: 350015052																	
ALCANCE	: 2 - 14 pH																	
RESOLUCIÓN:	: 0.01																	
PROCEDENCIA	: USA																	
4. UBICACIÓN	: Laboratorio de AQA QUIMICA S.A.																	
5. FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2023-05-29																	
6. METODO DE CALIBRACIÓN	La calibración se efectuó según PSI-IN-005 "Procedimiento de calibración para medidores de pH" de AQA Química S.A.																	
7. TRAZABILIDAD	Se utilizó las soluciones tampónes patrones de pH: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>pH</th> <th>Nro. Lote</th> <th>Certificado de análisis</th> <th>Incertidumbres (pH)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.01</td> <td>A1149</td> <td>Hach Company</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>7.00</td> <td>A1142</td> <td>Hach Company</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>10.01</td> <td>A2278</td> <td>Hach Company</td> <td>0,02</td> </tr> </tbody> </table>		pH	Nro. Lote	Certificado de análisis	Incertidumbres (pH)	4.01	A1149	Hach Company	0,02	7.00	A1142	Hach Company	0,02	10.01	A2278	Hach Company	0,02
pH	Nro. Lote	Certificado de análisis	Incertidumbres (pH)															
4.01	A1149	Hach Company	0,02															
7.00	A1142	Hach Company	0,02															
10.01	A2278	Hach Company	0,02															

Código: PSI-FQ-014
Versión: 003

Aprobado por: CG
 UR, Rev. 2020-10-01




Una empresa con Sistema de Gestión de Calidad
 Certificado ISO 9001

Oficina Comercial:
Parque Manuel González Prada 705
Magdalena del Mar, Lima 17 - Perú
Tel. (511) 204 5700
ventas@aqaquimica.com

Oficina Administrativa:
Av. General Garzón 2210
Jesús María, Lima 11 - Perú
Tel. (511) 512 2500
www.aqaquimica.com



8. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura ambiental : 24 °C
Humedad Relativa : 52 %H.R.

9. RESULTADOS

Valor Indicado (pH)	Valor de Referencia (pH)	Error (pH)	Incertidumbre (pH)
3,78	3,99	-0,21	0,01
7,04	7,00	0,04	0,01
10,07	10,03	0,04	0,01

Valor de referencia = Valor Indicado - Error.

El coeficiente de correlación obtenido es 0,9998.

10. OBSERVACIONES

La temperatura utilizada para el ajuste y calibración, es de 25 °C.

Antes del ajuste se obtuvieron los siguientes resultados de los buffers 4.01, 7.00 y 10.01 = 3.99, 7.06 y 10.15 respectivamente.

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO".

(FIN DEL DOCUMENTO)

Código: PSI-FD-014
Versión: 003

Aprobado por: CC
Ult. Rev. 2020-10-01



Una empresa con Sistema
de Gestión de Calidad
Certificado ISO 9001

ANEXO 7

CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE TURBIDEZ

Oficina Comercial:
Parque Manuel González Prada 705
Magdalena del Mar, Lima 17 - Perú
Tel: (511) 204 5700
ventas@aqaquimica.com

Oficina Administrativa:
Av. General Garzón 2210
Jesús María, Lima 11 - Perú
Tel: (511) 512 2500
www.aqaquimica.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número de Certificado ICH-072023-07

1. SOLICITANTE : SEDA HUANUCO S.A.
2. DIRECCIÓN : Jr. Damaso Beraun Nro. 545 – Huánuco, Huánuco
3. INSTRUMENTO CALIBRADO : Medidor de Turbidez
 - MARCA : Hach
 - MODELO : TL2350
 - NUMERO DE SERIE : 2016100C0217
 - IDENTIFICACIÓN : 150011066
 - ALCANCE : 0 – 10,000 NTU
 - RESOLUCIÓN : 0.001
 - PROCEDENCIA : USA
4. UBICACIÓN : Laboratorio de AQA QUIMICA S.A.
5. FECHA DE CALIBRACIÓN : 2023-07-26

6. METODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó según PSI-IN-005 "Procedimiento de calibración para medidores de Turbidez" de AQA Química S.A.

7. TRAZABILIDAD

NTU	Nro. Lote	Certificado de análisis
0,1	A2143	Hach Company
20,0	A2123	Hach Company
200	A2144	Hach Company
1000	A2112	Hach Company
4000	A2139	Hach Company
7500	A2146	Hach Company

Código: PSI-Q-014
Versión: 001

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

AQA Química S.A. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de AQA Química S.A.

José Lozada Ruiz
Servicio Técnico Hach

Aprobado por: CC
Ult. Rev. 2012-06-25



Una empresa con Sistema
de Gestión de Calidad
Certificado ISO 9001

Oficina Comercial:
Parque Manuel González Prado 705
Magdalena del Mar, Lima 17 - Perú
Tel.(511) 204 5700
ventas@sqaquimica.com

Oficina Administrativa:
Av. General Garzón 2210
Jesús María, Lima 11 - Perú
Tel.(511) 512 2500
www.sqaquimica.com



8. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura ambiental : 22,9 °C
Humedad Relativa : 55 %H.R.

9. RESULTADOS

Valor Indicado (NTU)	Valor de Referencia (NTU)	Error (NTU)	E.M.P. (NTU)
0,091	<0,1	-0,009	±0,50
20,4	20,0	0,4	±1,0
200,0	200,0	0,0	±10,0
1006,0	1000,0	0,6	±50,0
4010,0	4000,0	10,0	±200,0
7544,0	7500,0	44,0	±375,0

Valor de referencia= Valor Indicado - Error.

10. OBSERVACIONES

E.M.P.= Error Máximo Permitido.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO".

(FIN DEL DOCUMENTO)

Código: FSI-PO-014
Versión: 001

Aprobado por: CC
Ult. Rev. 2012-06-25



Una empresa con Sistema
de Gestión de Calidad
Certificada ISO 9001

ANEXO 8

NOTA DE PEDIDO DE CLORURO DE POLIALUMINIO

SEDA HUANUCO S.A.

HUANUCO
Leoncio Piñan Albornoz
SERV-TS # Piantal

RIO.04.01.01.OA.CL

NOTA DE PEDIDO 2313395

Gasto Operativo

F. PROCESO 28/11/2023

PAGINA 1 de 1

PERIODO
Noviembre DEL..

UNIDAD ORGANICA 0024 AREA DE PRODUCCION ACTIVIDAD . .
FECHA DE EMISION 28/11/2023 INVERSION
PRIORIDAD Normal CUENTA
REMITIR A REFER. SIN AGRUPADORA
COMENTARIO
PRECIO POR KILOGRAMO DE CLORURO DE POLIALUMINIO.

ITEM	CODIGO	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	VALOR	ACTIVI	CUENTA	COSTO-ABC
001	B01.046.0276	CLORURO POLIALUMINIO	KG	1,000.00	7.89	7,890.00	0457	602111107	90161201-
TOTAL GENERAL ==>						7,890.00			

ANEXO 9

NOTA DE PEDIDO DE SULFATO DE ALUMINIO TIPO A

SEDA HUANUCO S.A.

HUANUCO

Leoncio Pifan Albornoz

SERV-TS # Planta1

RIO.04.01.01.GA.CL

NOTA DE PEDIDO 2313390

Gasto Operativo

F. PROCESO 28/11/2023

PAGINA 1 de 1

PERIODO

Noviembre DEL...

UNIDAD ORGANICA 0024 AREA DE PRODUCCION

ACTIVIDAD . . .

FECHA DE EMISION 28/11/2023

INVERSION

PRIORIDAD Normal

CUENTA

REMITIR A

REFER. SIN AGRUPADORA

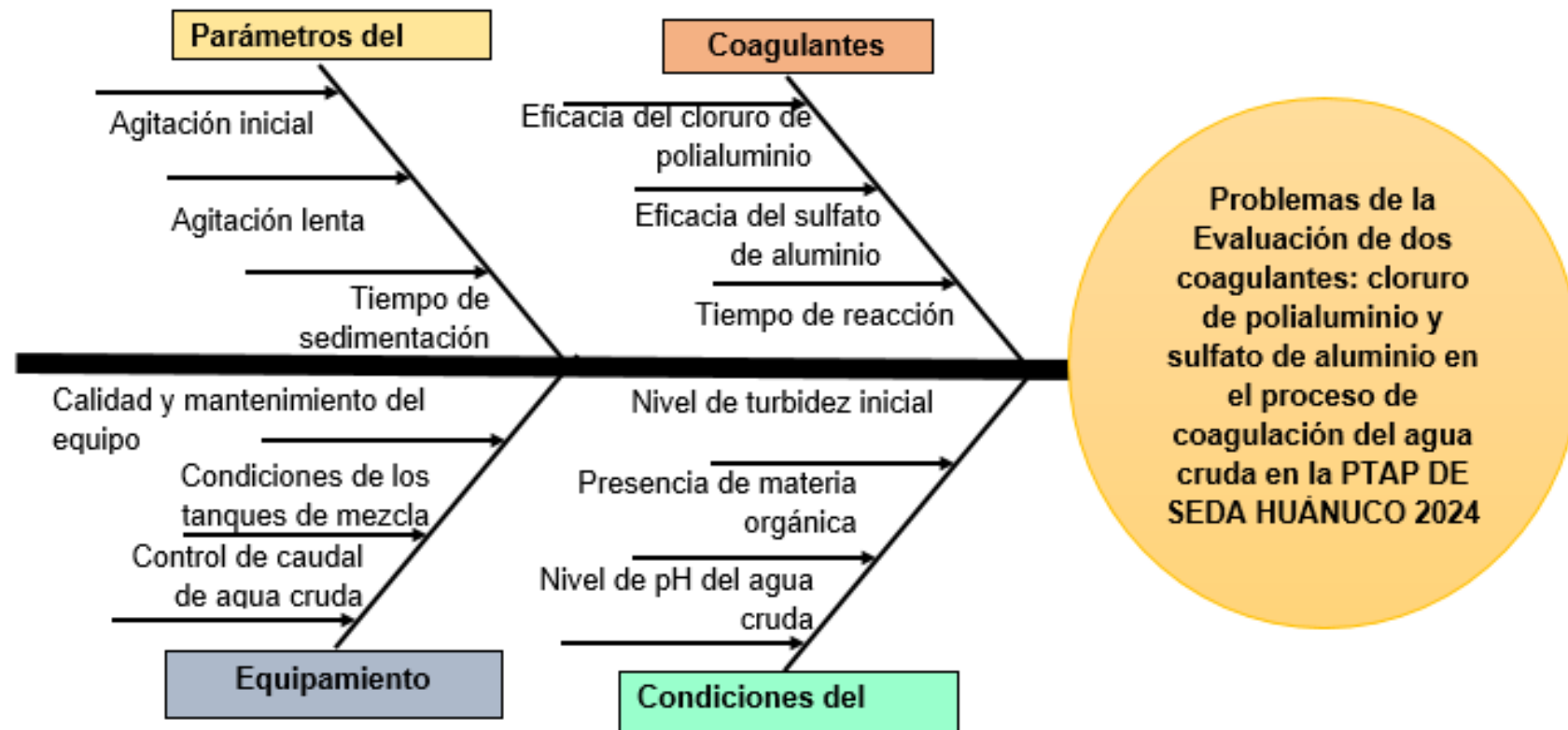
COMENTARIO

PRECIOS POR KILOGRAMOS DE SULFATO DE ALUMINIO TIPO A.

ITEM	CODIGO	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	VALOR	ACTIVI	CUENTA	COSTO-ABC
001	B01.014.0016	SULFATO DE ALUMINIO TIPO A	KG	1,000.00	2.90	2,900.00	0457	602111101	90161201-
TOTAL GENERAL ==>						2,900.00			

ANEXO 10

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 11

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES

