

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

Análisis de variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayoc - Huanta (2024 – 2025)

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN UNAH:

Ciencias del Medio Ambiente

AUTOR:

Barboza Bravo, Edson Michael

ASESOR:

Dr. Herrera Díaz Santos Clemente

CO-ASESOR:

Ing. Huisa Taipe Michael

HUANTA - PERÚ

2026

NOMBRE DEL TRABAJO

Informe final de tesis_Edson Barboza Bravo.pdf

RECUENTO DE PALABRAS

28221 Words

RECUENTO DE CARACTERES

142661 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

120 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 7, 2026 2:10 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 7, 2026 2:12 PM GMT-5**● 16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



Firmado digitalmente por
HERRERA DIAZ Santos Clemente
FAU 20574653798
sofi
Fecha: 2026.07.07
14:18:54 -05'00'

Análisis de Variación Estacional en la Eficiencia de Remoción de Turbidez con Sulfato de Aluminio en la PTAP Huancayo - Huanta (2024 – 2025)

TESISTA

Barboza Bravo, Edson Michael

ASESOR

Dr. Herrera Díaz Santos Clemente

CO-ASESOR

Ing. Huisa Taipe Michael


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

"Año la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la ciudad de Huanta, en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en la autopista Carlos Ch. Hiraoka, desvío a Ccollana, a los 02 días del mes de julio de 2026, siendo las 17:00 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Mtro. Fernando Gari Huayhua Levano	Miembro Titular 1 (Presidente)
Mtra. Jaqueline Chuquillanqui Gómez	Miembro titular 2
Dr. Santos Clemente Herrera Diaz	Miembro titular 3
Mtro. Yomer Cisneros Aguirre	Accesitario

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 104-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis del **Bach. Edson Michael Barboza Bravo**, con la tesis titulada: **"Análisis de variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayoc-Huanta (2024-2025)"** asesorado por el Dr. Santos Clemente Herrera Diaz y Coasesor Ing. Michael Huisa Taipe, para optar el Título profesional de: Ingeniero Ambiental.

Observaciones:

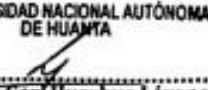
.....

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por la tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	<input checked="" type="checkbox"/>
Aprobado Bueno	<input type="checkbox"/>
Aprobado Muy Bueno	<input type="checkbox"/>
Aprobado Excelente	<input type="checkbox"/>

Con la calificación de **Traca** (13)

Siendo las ...17:45 hr... se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
 Mtro. Fernando Gari Huayhua Levano
 DOCENTE ASOCIADO
 Mtro. Fernando Gari Huayhua Levano
 Miembro Titular 1 (Presidente)


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
 Mtra. Jaqueline Chuquillanqui Gómez
 DOCENTE
 Mtra. Jaqueline Chuquillanqui Gómez
 Miembro Titular 2


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
 Dr. Santos Clemente Herrera Diaz
 DOCENTE ORDINARIO PRINCIPAL

Dr. Santo Clemente Herrera Diaz
 Miembro Titular 3

DEDICATORIA

Dedico este informe a mi familia, por su apoyo incondicional y la paciencia que me brindaron en cada etapa de este proceso. A mis amigos, por acompañarme con ánimo sincero en los momentos de mayor exigencia. Y a mis docentes y asesores, cuyo rigor, orientación y confianza hicieron posible la culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, por la formación académica y el respaldo institucional brindados para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, reconozco la valiosa orientación de mis asesores de tesis y el aporte de los docentes, cuyas enseñanzas fortalecieron el sustento teórico y metodológico del presente estudio.

De igual manera, agradezco a mi familia por su apoyo constante y confianza durante este proceso. Finalmente, expreso mi gratitud a todas las personas e instituciones que contribuyeron directa e indirectamente en la ejecución de la investigación.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez mediante sulfato de aluminio en la PTAP Huancayo, Huanta, durante el periodo junio de 2024 a febrero de 2025. El estudio fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicado, diseño no experimental y corte longitudinal. Se analizaron registros operativos diarios de turbidez del agua cruda y del agua filtrada, diferenciados entre estación seca y estación húmeda, mediante estadística descriptiva e inferencial.

Los resultados evidenciaron una eficiencia media de remoción de 72,78 % en la estación seca y de 76,85 % en la estación húmeda, con diferencia estadísticamente significativa. La turbidez filtrada promedio fue de 1,36 UNT en época seca y 1,31 UNT en época húmeda. Asimismo, la meta de eficiencia mayor o igual a 80 % se alcanzó con mayor frecuencia en la estación húmeda. En ambas estaciones, la planta cumplió el límite normativo de turbidez filtrada menor o igual a 5 UNT.

Se concluye que la estacionalidad influye significativamente en la eficiencia del proceso, observándose un mejor desempeño en la estación húmeda. Se recomienda fortalecer el ajuste de dosificación del coagulante y el monitoreo operativo según la variación estacional.

Palabras clave: Turbidez, estacionalidad, sulfato de aluminio, eficiencia de remoción, planta de tratamiento de agua potable.

ABSTRACT

The research aimed to determine the seasonal variation in turbidity removal efficiency using aluminum sulfate at PTAP Huancayoc, Huanta during the period from June 2024 to February 2025. The study was of quantitative approach, applied type, non-experimental design and longitudinal design. Daily operational records of turbidity of raw water and filtered water were analyzed, differentiated between dry season and wet season, using descriptive and inferential statistics.

The results showed an average removal efficiency of 72.78% in the dry season and 76.85% in the wet season, with statistically significant difference. The average filtered turbidity was 1.36 UNT in dry season and 1.31 UNT in wet season. Also, the efficiency target greater than or equal to 80% was most frequently achieved in the wet season. In both seasons, the plant met the regulatory limit of filtered turbidity less than or equal to 5 UNT.

It is concluded that seasonality significantly influences the efficiency of the process, with better performance observed in the wet season. It is recommended to strengthen the dosage adjustment of the coagulant and operational monitoring according to seasonal variation.

Keywords: turbidity, seasonality, aluminum sulfate, removal efficiency, drinking water treatment plant.

ÍNDICE

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
INTRODUCCION	18
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1. Descripción y formulación del problema.....	20
1.1.1. Interrogante general.....	22
1.1.2. Interrogantes específicas.....	22
1.2. Objetivos	22
1.2.1. Objetivo general	22
1.2.2. Objetivos específicos	23
1.3. Justificación e importancia	23
1.4. Hipótesis.....	24
1.4.1. Hipótesis general	24
1.4.2. Hipótesis específicas.....	25
1.5. Variables.....	25
1.5.1. Operacionalización de las variables.....	26

II. MARCO TEÓRICO	27
2.1. Antecedentes	27
2.2. Internacionales	27
2.2.1. Nacionales.....	30
2.2.2. Locales.....	33
2.3. Bases teóricas	35
2.3.1. Estacionalidad climática y variación de la calidad del agua superficial.....	35
2.3.2. Turbidez del agua cruda como parámetro crítico en PTAP	36
2.3.3. Calidad del agua superficial y turbidez	36
2.3.4. Mecanismos de floculación en el tratamiento del agua	37
2.3.5. Uso del sulfato de aluminio como coagulante – parámetros operativos y eficacia .	38
2.3.6. Coagulación-floculación y uso del sulfato de aluminio	39
2.3.7. Principios de la coagulación-floculación con sulfato de aluminio.....	40
2.3.8. Variación estacional en fuentes de agua superficial y su impacto en el tratamiento.....	41
2.3.9. Dinámica de partículas coloidales y su implicancia en la coagulación	42
2.3.10. Eficiencia de remoción de turbidez mediante sulfato de aluminio.....	42
2.3.11. Variables operativas y condiciones del agua cruda que afectan la eficiencia del tratamiento.....	43
2.3.12. Normativas y estándares sobre tratamiento de agua potable.....	44
2.3.13. Impactos del cambio climático en la calidad del agua cruda	45

2.4. Definición de términos.....	45
III. METODOLOGÍA.....	48
3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación	48
3.2. Ámbito temporal y espacial	48
3.2.1. Ámbito espacial.....	48
3.2.2. Ámbito temporal.....	50
3.3. Población y muestra.....	50
3.3.1. Población	50
3.3.2. Muestra.....	51
3.4. Técnicas e instrumentos	54
3.4.1. Materiales y equipos de muestreo	55
3.5. Procedimientos	56
3.6. Análisis de datos	61
IV. RESULTADOS	64
4.1. Resultados.....	64
4.1.1. Determinación de la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.	64
4.1.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez durante la estación seca en la PTAP Huancayocc, Huanta, durante el periodo 2024 - 2025	68

4.1.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez durante la estación húmeda en la PTAP Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.....	70
4.1.4. Comparación de la eficiencia de remoción de turbidez entre ambas estaciones en la PTAP Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025	72
4.2. Contrastación de hipótesis	81
4.3. Discusión de resultados	86
V. CONCLUSIONES.....	90
VI. RECOMENDACIONES.....	91
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
VIII. ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1_ Matriz de operacionalización de variables del estudio	26
Tabla 2_ Registro climatológico en el área de estudio	65
Tabla 3_ Eficiencia de remoción de turbidez en estación seca.....	68
Tabla 4_ Eficiencia de remoción de turbidez en estación húmeda	70
Tabla 5_ Prueba de normalidad de los datos según estación	81
Tabla 6_ Contrastación estadística entre estación seca y estación húmeda.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la PTAP	49
Figura 2. Evidencia del proceso de recolección de datos de campo en la PTAP Huancayocc, Huanta	59
Figura 3. Recolección de datos en las unidades operativas de la PTAP Huancayocc	59
Figura 4. Verificación de las condiciones operativas en la PTAP Huancayocc durante el trabajo de campo	60
Figura 5. Revisión y sistematización de datos durante el trabajo de campo en la PTAP Huancayocc, Huanta	60
Figura 6. Variación de la temperatura según estación	66
Figura 7. Variación de la humedad relativa por estación	66
Figura 8. Variación de la precipitación por estación en Huanta	67
Figura 9. Porcentaje de remoción de turbidez según la estación seca	68
Figura 10. Porcentaje de remoción de turbidez según la estación húmeda	66
Figura 11. Distribución de turbidez cruda según estación (seca / húmeda)	73
Figura 12. Distribución de la turbidez (filtrada) según estación	74
Figura 13. Evolución temporal de la turbidez (filtrada)	75
Figura 14. Distribución de turbidez filtrada según estación (seca / húmeda)	77
Figura 15. Relación entre turbidez (cruda) y eficiencia de remoción en la PTAP	78
Figura 16. Evolución temporal de la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio	79
Figura 17. Eficiencia de remoción de turbidez (filtrada) con sulfato de aluminio	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	90
Anexo 2. Registro de datos recopilados según estacionalidad - turbidez.....	91
Anexo 3. Eficiencia de remoción de turbidez diaria.....	98
Anexo 4. Registro de datos recopilados según estacionalidad - precipitación	105
Anexo 5. Autorización de acceso a data sobre turbidez en la PTAP. Huancayocc	112
Anexo 6. Panel fotográfico	113

INTRODUCCION

El acceso a agua potable segura constituye un derecho humano fundamental y un requisito esencial para el desarrollo sostenible, reconocido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021). En el Perú, a pesar de los avances en cobertura de agua potable, aún persisten brechas significativas en la calidad del servicio, especialmente en áreas rurales y altoandinas. Según el PNUD (2021), más del 20 % de la población rural no accede a agua que cumpla con los estándares mínimos de potabilidad, situación que se agrava en regiones con marcada estacionalidad climática.

Entre los parámetros de calidad más críticos, la turbidez constituye uno de los principales desafíos para las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), debido a su asociación con sólidos suspendidos, coloides, materia orgánica y microorganismos patógenos. Los niveles elevados de turbidez reducen la eficacia de la desinfección, incrementan los costos de tratamiento y deterioran la aceptabilidad del recurso hídrico (WHO, 2021; Torres-Sánchez et al., 2023). En el Perú, el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano establece un valor máximo de 5 unidades nefelométricas de turbidez para el agua destinada al consumo humano, límite que suele ser más difícil de controlar en sistemas rurales durante la temporada de lluvias (MINAM, 2023).

La PTAP Huancayo, ubicada en la provincia de Huanta, distrito de Huanta, Ayacucho, constituye un caso representativo de estas dificultades. Durante la estación húmeda, el incremento de la precipitación favorece el arrastre de partículas, la erosión de suelos y la escorrentía superficial, elevando la turbidez del agua cruda. En estas condiciones, el proceso de coagulación química mediante sulfato de aluminio, principal método empleado para la remoción de turbidez en sistemas rurales, enfrenta limitaciones técnicas. Su efectividad depende de múltiples factores, como la dosis de coagulante, el pH, la alcalinidad y la calidad

inicial del agua, los cuales pueden variar según las condiciones estacionales del sistema de captación y tratamiento (Chávez-Mejía et al., 2022; Díaz et al., 2021).

Estudios recientes han demostrado que la estacionalidad influye de manera determinante en la eficiencia de las plantas rurales. Por ejemplo, Ramos y Delgado (2023) evidencian que, durante la temporada de lluvias en la sierra sur del Perú, la turbidez del agua cruda puede incrementarse hasta diez veces respecto a la época seca, comprometiendo el cumplimiento normativo si no se ajusta la dosificación del coagulante. Sin embargo, en plantas rurales como Huancayo, el ajuste de dosis se realiza de forma empírica, sin protocolos técnicos estandarizados, lo que genera ineficiencia, uso excesivo de insumos y mayor producción de lodos residuales (OEFA, 2022).

La problemática se agrava por la falta de monitoreo sistemático y de personal especializado, lo que limita la capacidad de respuesta frente a la variabilidad climática. En consecuencia, la población de Huanta se enfrenta a riesgos sanitarios asociados al consumo de agua con deficiencias en su calidad, incrementando la vulnerabilidad frente a enfermedades de origen hídrico (Jiménez & García, 2022).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

El acceso a agua potable segura es uno de los desafíos más urgentes a nivel mundial. De acuerdo con la OMS (2021), aproximadamente 2.000 millones de personas consumen agua que no cumple con estándares mínimos de calidad, situación que se traduce en un elevado riesgo de enfermedades de origen hídrico. En países en desarrollo, este problema se intensifica en comunidades rurales, donde la infraestructura es limitada y los sistemas de tratamiento de agua enfrentan dificultades técnicas y operativas. Entre los parámetros críticos que comprometen la calidad del recurso hídrico, la turbidez ocupa un lugar central, ya que refleja la presencia de partículas suspendidas, materia orgánica y microorganismos patógenos que disminuyen la eficacia de la desinfección y generan serias implicancias en la salud pública.

A nivel internacional, investigaciones recientes en India y México muestran que la turbidez en fuentes superficiales puede superar los 200 UNT durante periodos de intensas precipitaciones, obligando a plantas de tratamiento a incrementar significativamente el uso de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio para lograr niveles de remoción adecuados (Sharma & Kaur, 2020; Pérez & Rivas, 2018). Sin embargo, cuando la dosificación no se ajusta correctamente a las condiciones del agua cruda, el tratamiento pierde eficiencia, generando incumplimientos en los estándares de potabilidad y mayores costos operativos (Chávez-Mejía, Soto-Muñoz & Rodríguez-Gómez, 2022).

En el contexto peruano, la situación no es distinta. Según la SUNASS (2022), alrededor del 35 % de los sistemas rurales no logra cumplir de manera constante con los parámetros de calidad del agua establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Durante la temporada de lluvias, la turbidez del agua cruda en fuentes superficiales suele incrementarse de manera

abrupta, alcanzando valores superiores a 150 UNT en diversas regiones altoandinas (Ramos & Delgado, 2023). Estas condiciones superan la capacidad técnica de las plantas de tratamiento rurales, donde el proceso de coagulación con sulfato de aluminio se realiza, en muchos casos, de manera empírica y sin protocolos técnicos estandarizados. Esto conlleva un doble problema: en época de lluvias, la dosis de coagulante resulta insuficiente para alcanzar la remoción requerida; mientras que en temporada seca, el uso excesivo genera costos elevados y aumenta la producción de lodos residuales con impacto ambiental (Morales et al., 2023).

En la región de Ayacucho, particularmente en la provincia de Huanta, los estudios locales confirman esta situación. Investigaciones en plantas de tratamiento cercanas, como las de Luricocha y Huamanguilla, muestran que la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio varía entre 80 % y 90 %, dependiendo de las condiciones iniciales del agua y de los ajustes en la dosificación (Zambrano & Gutiérrez, 2021; Ccanto, 2021). Sin embargo, estas plantas evidencian dificultades recurrentes durante la temporada de lluvias, cuando la turbidez supera la capacidad operativa de los sistemas de coagulación, comprometiendo el cumplimiento de la normativa nacional.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayoc, ubicada en el distrito de Huanta, constituye un caso representativo de esta problemática. Actualmente, carece de evaluaciones técnicas recientes que permitan determinar la eficiencia real de su proceso de coagulación bajo diferentes condiciones estacionales. Esta falta de información limita la capacidad de optimizar la operación, comprometiendo la sostenibilidad del servicio y la seguridad sanitaria de la población beneficiaria.

En este contexto, surge la necesidad de realizar un estudio sistemático que analice la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayoc, considerando tanto la temporada seca como la húmeda. Este análisis no

solo permitirá identificar los periodos de mayor vulnerabilidad, sino también establecer criterios técnicos para mejorar la gestión operativa y garantizar el acceso a agua potable segura en la región.

1.1.1. Interrogante general

¿En qué medida varía la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio entre las estaciones seca y húmeda en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024 - 2025?

1.1.2. Interrogantes específicas

- ¿En qué medida se logra la remoción de turbidez durante la estación seca en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024 - 2025?
- ¿En qué medida se logra la remoción de turbidez durante la estación húmeda en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024 - 2025?
- ¿En qué medida difiere la eficiencia de remoción entre ambas estaciones en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024 - 2025?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio durante la estación seca en la PTAP Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.
- Evaluar la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio durante la estación húmeda en la PTAP Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.
- Comparar la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio entre la estación seca y la estación húmeda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Huancayocc, Huanta, durante el periodo 2024 a 2025.

1.3. Justificación e importancia

El acceso a agua potable segura constituye un derecho humano esencial, aún no garantizado para amplios sectores rurales que consumen agua con elevada carga de sólidos y microorganismos patógenos (OMS, 2021). La turbidez, más que un parámetro físico, representa un factor crítico que compromete la eficacia de la desinfección y la percepción de potabilidad, especialmente en sistemas que utilizan coagulación con sulfato de aluminio bajo condiciones operativas limitadas (Chávez-Mejía et al., 2022). En el Perú, numerosas PTAP rurales presentan dificultades recurrentes para cumplir los estándares de calidad, particularmente en épocas lluviosas, cuando la variación estacional de la calidad del agua cruda incrementa la complejidad del tratamiento (SUNASS, 2022; MINAM, 2023).

En la región de Ayacucho, y específicamente en la provincia de Huanta, se ha evidenciado que la turbidez del agua cruda puede alcanzar valores muy elevados durante la temporada de lluvias, poniendo en evidencia las limitaciones técnicas y operativas de las plantas existentes (Zambrano & Gutiérrez, 2021; Ccanto, 2021). La PTAP Huancayocc comparte esta problemática y carece de una evaluación sistemática que describa cómo varía la

eficiencia de remoción de turbidez a lo largo del año y bajo distintas condiciones de operación, lo que dificulta la adopción de estrategias basadas en evidencia para ajustar la dosis de coagulante y otros parámetros clave del proceso.

La investigación propuesta adquiere relevancia científica y técnica al analizar, con enfoque cuantitativo y apoyo de herramientas estadísticas, el comportamiento del proceso de coagulación con sulfato de aluminio en un contexto altoandino y rural (Chávez-Mejía et al., 2022). El estudio permitirá identificar la relación entre variables operativas, calidad del agua cruda y eficiencia de remoción de turbidez, optimizando el uso de insumos químicos y reduciendo la generación de lodos, en concordancia con los lineamientos técnicos nacionales (MINAM, 2023). Ello se traduce en un manejo ambientalmente más responsable y en una mejora de la eficiencia operativa de la planta, con impactos directos en la sostenibilidad del sistema.

Ante este escenario, la presente investigación es necesaria y oportuna. Analizar de manera rigurosa la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez permitirá obtener datos concretos que orienten decisiones técnicas, mejoren el uso de insumos, protejan la salud de los usuarios y contribuyan a la sostenibilidad operativa del sistema. Además, los resultados no solo beneficiarán a la PTAP Huancayo, sino que también podrán ser útiles como referencia para otras plantas en condiciones similares dentro de la región.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio varía significativamente entre la estación seca y la estación húmeda en la PTAP Huancayo – Huanta.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la estación seca es significativamente alta en la PTAP Huancayoc – Huanta, durante el periodo 2024- 2025.
- La eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayoc – Huanta, durante el periodo 2024 – 2025, disminuye en la estación húmeda.
- Existen diferencias significativas entre la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en ambas estaciones en la PTAP Huancayoc – Huanta, durante el periodo 2024 – 2025.

1.5. Variables

Variable independiente: Estación climática.

- Definición conceptual: Se refiere al periodo del año caracterizado por condiciones climáticas específicas (temperatura, precipitación, humedad) que afectan la calidad del agua cruda.
- Definición operativa: Se dividirá en dos categorías:
 - Estación seca: comprendida entre los meses de junio a septiembre.
 - Estación húmeda: comprendida entre octubre a febrero.
- Escala de medición: Nominal (dos categorías: seca – húmeda).

Variable dependiente: Eficiencia de remoción de turbidez

- Definición conceptual: Es el porcentaje que indica cuánto se reduce la turbidez del agua cruda tras el tratamiento con sulfato de aluminio.

- Definición operativa: Se calcula a partir de los niveles de turbidez medidos antes y después del tratamiento, usando la fórmula:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{T_{\text{cruda}} - T_{\text{tratada}}}{T_{\text{cruda}}} \times 100$$

- Escala de medición: Razón (expresada en porcentaje %).

1.5.1. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables del estudio

Variable	definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnicas de recolección	Instrumentos	Escala de medición
Variable independiente : Estación climática	Periodo del año definido por condiciones diferenciadas de precipitación, temperatura y humedad relativa, que permiten distinguir estación seca y húmeda (SENAMHI, 2025).	Estación seca Estación húmeda	- Estación seca (junio - septiembre) - Estación húmeda (octubre - febrero)	Revisión documental y registro meteorológico	Ficha de registro meteorológico o local (SENAMHI)	Nominal
Variable dependiente: Eficiencia de remoción de turbidez	Porcentaje de reducción de la turbidez del agua cruda después del tratamiento mediante coagulación con sulfato de aluminio (WHO, 2022).	Turbidez del agua cruda Turbidez del agua tratada Porcentaje de remoción	- Turbidez del agua cruda (UNT) - Turbidez del agua tratada (UNT) - Porcentaje de remoción de turbidez (%)	Observación directa y medición in situ	Ficha de monitoreo de calidad de agua	Razón (UNT y %)

Fuente: Elaboración propia.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.2. Internacionales

A nivel internacional, numerosas investigaciones han abordado la eficiencia del proceso de coagulación con sulfato de aluminio para la remoción de turbidez en aguas superficiales, tanto en contextos urbanos como rurales. Estos estudios han evidenciado que, si bien el sulfato de aluminio es uno de los coagulantes más eficaces y utilizados a nivel mundial, su rendimiento depende de varios factores como el pH, la dosis aplicada, la calidad del agua cruda y el tiempo de sedimentación. La revisión de estas experiencias permite establecer un marco comparativo útil para evaluar el comportamiento del mismo coagulante en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayo – Huanta, especialmente bajo condiciones estacionales cambiantes.

En México, González et al. (2018) desarrollaron el estudio titulado “*Evaluación de la eficiencia del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez en aguas superficiales*”, con el objetivo de determinar la capacidad de remoción de turbidez del sulfato de aluminio bajo diferentes condiciones operativas. La metodología correspondió a un enfoque cuantitativo de diseño experimental, basado en ensayos de prueba de jarras con dosis de coagulante entre 10 y 60 mg/L, control de pH entre 6,0 y 7,0, y muestras de agua superficial con turbidez inicial entre 50 y 300 UNT. Como resultado, se evidenció que las dosis óptimas entre 30 y 50 mg/L permitieron alcanzar eficiencias de remoción de turbidez de hasta 95 %, confirmando que el ajuste técnico de la dosis y del pH mejora el rendimiento del proceso de coagulación. Este antecedente aporta sustento técnico a la presente investigación, porque demuestra que el sulfato

de aluminio puede ser eficaz en aguas de alta turbidez cuando se aplican criterios de dosificación basados en pruebas previas.

En India, Singh et al. (2020) desarrollaron el estudio “*Optimization of coagulation process for turbidity removal using aluminium sulphate*”, con el objetivo de optimizar el proceso de coagulación para la remoción de turbidez mediante sulfato de aluminio. La metodología correspondió a un enfoque cuantitativo de diseño experimental factorial, desarrollado en una planta piloto, donde se trabajó con aguas de turbidez inicial entre 40 y 120 UNT y se evaluaron tres factores operativos: pH, dosis de sulfato de aluminio y tiempo de mezcla. Como resultado, se determinó que la combinación más eficiente fue una dosis de 40 mg/L, pH de 6,5 y tiempo de sedimentación de 30 minutos, alcanzando una eficiencia de remoción de turbidez de 92 %. Este antecedente evidencia que el sulfato de aluminio puede lograr altos niveles de eficiencia cuando la dosificación y las condiciones operativas se ajustan técnicamente, aspecto relevante para interpretar el comportamiento estacional del tratamiento en la PTAP Huancayo.

En Nigeria, Eze et al. (2019) desarrollaron la investigación comparativa “*Evaluation of aluminium sulphate and Moringa oleifera seed extract in turbidity removal from water*”, con el propósito de comparar la eficiencia del sulfato de aluminio como coagulante químico convencional frente al extracto de semillas de *Moringa oleifera* como alternativa natural. La metodología correspondió a un enfoque cuantitativo de diseño experimental comparativo, utilizando muestras de agua con turbidez inicial de 200 UNT, a las cuales se aplicaron ambos coagulantes para evaluar su capacidad de reducción de turbidez. Como resultado, se evidenció que el sulfato de aluminio alcanzó una remoción de turbidez de 96 %, mientras que el extracto de *Moringa oleifera* logró una remoción de 75 %. Este antecedente demuestra que, aunque los coagulantes naturales pueden ser útiles en contextos con recursos limitados, el sulfato de

aluminio mantiene mayor eficiencia cuando se requiere una reducción rápida y sostenida de la turbidez, aspecto relevante para el análisis del desempeño de la PTAP Huancayocc.

En Colombia, Jiménez y Restrepo (2016) desarrollaron la investigación denominada “*Comparación de coagulantes en el tratamiento de aguas rurales*”, centrada en el análisis del desempeño del sulfato de aluminio, el sulfato férrico y coagulantes naturales. El estudio incluyó pruebas tanto en laboratorio como en campo, utilizando aguas con niveles de turbidez de entre 30 y 200 UNT. El sulfato de aluminio fue el coagulante más eficiente, con una remoción de turbidez que osciló entre 85 % y 94 %, dependiendo del pH y de la calidad del agua cruda. Los autores subrayaron la importancia de aplicar pruebas de jar test de manera rutinaria para determinar las dosis óptimas, particularmente en plantas rurales que no cuentan con automatización ni sistemas de monitoreo continuo. Esta recomendación cobra especial relevancia para la PTAP Huancayocc, donde actualmente no se realiza un ajuste técnico formal de la dosificación según la estacionalidad climática.

En conjunto, los antecedentes internacionales revisados coinciden en que el sulfato de aluminio sigue siendo una opción segura, eficaz y replicable para la remoción de turbidez, siempre que se cuente con procedimientos de control y ajuste adecuados. La eficiencia del proceso depende, en gran medida, de las condiciones iniciales del agua cruda y del nivel técnico con que se maneje la planta. Esta evidencia internacional respalda plenamente la pertinencia de realizar una evaluación detallada y localizada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Huancayocc – Huanta, especialmente considerando la marcada variación estacional en la turbidez del agua captada. El presente estudio contribuirá, así, a fortalecer la gestión operativa de esta planta y a proponer mejoras técnicas replicables en otras regiones altoandinas del Perú.

2.2.1. Nacionales

En el contexto peruano, distintas investigaciones han abordado la eficiencia del proceso de coagulación con sulfato de aluminio en la remoción de turbidez en plantas de tratamiento de agua potable, especialmente en sistemas rurales. Estos estudios han demostrado que, aunque el sulfato de aluminio es ampliamente utilizado por su efectividad y accesibilidad, su desempeño está condicionado por diversos factores como el nivel de turbidez del agua cruda, el pH, la dosis aplicada, el monitoreo técnico y, sobre todo, la estacionalidad climática. En muchas regiones del país, la temporada de lluvias representa un desafío operativo importante, pues incrementa drásticamente la turbidez del agua superficial, superando la capacidad de respuesta de plantas sin protocolos de ajuste ni supervisión técnica.

En Cajamarca, Alvarado y Córdova (2020) desarrollaron el estudio “*Evaluación del proceso de coagulación con sulfato de aluminio en la remoción de turbidez en una planta rural en Cajamarca*”, con el objetivo de analizar el desempeño del proceso de coagulación bajo condiciones reales de operación. La metodología correspondió a un enfoque cuantitativo de diseño experimental, mediante ensayos de prueba de jarras aplicados a muestras de agua cruda con turbidez inicial entre 40 y 150 UNT, evaluando distintas dosis de sulfato de aluminio y controlando el pH del proceso. Como resultado, se evidenció que una dosificación ajustada entre 30 y 50 mg/L permitió alcanzar una eficiencia promedio de remoción de turbidez de 88 %, con mejor desempeño en aguas de mayor turbidez inicial. Este antecedente aporta a la presente investigación porque confirma que la dosificación precisa del sulfato de aluminio y el monitoreo operativo constante son condiciones necesarias para mejorar la calidad del agua tratada en plantas rurales expuestas a variabilidad en la calidad del agua cruda.

En Ayacucho, Huamán (2019) desarrolló la investigación “*Eficiencia de remoción de turbidez en la planta de tratamiento de agua potable de Ayacucho*”, con el objetivo de analizar

la influencia del proceso de coagulación en la calidad del agua tratada, especialmente durante condiciones climáticas asociadas a la temporada de lluvias. La metodología fue de enfoque cuantitativo, basada en mediciones in situ, análisis de laboratorio y seguimiento de parámetros operativos como turbidez, pH y velocidad de mezcla. Como resultado, se evidenció que el uso de sulfato de aluminio permitió alcanzar eficiencias de remoción superiores al 90 %, siempre que se mantuviera un control adecuado de la dosificación y de las condiciones operativas del proceso. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación porque demuestra que la eficiencia del coagulante puede mantenerse en escenarios de mayor variabilidad climática cuando la operación de la planta se ajusta técnicamente, aspecto directamente relacionado con el análisis estacional de la PTAP Huancayocc.

En Cusco, Vilca y Ramos (2021) desarrollaron el estudio “*Control operacional del proceso de coagulación en la planta de tratamiento de agua potable de Cusco*”, con el objetivo de optimizar la aplicación del sulfato de aluminio mediante pruebas de jarras estandarizadas. La metodología fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, basada en el análisis de muestras de agua cruda con diferentes niveles de turbidez, la aplicación de varias dosis de coagulante y la medición posterior de la turbidez residual. Como resultado, se obtuvieron eficiencias de remoción entre 85 % y 93 %, lo que evidenció que el ajuste técnico de la dosificación mejora el rendimiento del proceso de coagulación. Este antecedente aporta a la presente investigación porque resalta la importancia de ajustar la dosis de sulfato de aluminio según la carga de turbidez del agua cruda, criterio necesario para interpretar la variación estacional del tratamiento en la PTAP Huancayocc.

Por su parte, el INS (2018), mediante el “*Informe técnico sobre calidad del agua en plantas de tratamiento rurales del Perú*”, analizó el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua en sistemas rurales de tratamiento. La metodología correspondió a una revisión

documental y técnica de reportes de monitoreo, registros operativos y condiciones de funcionamiento de plantas rurales, considerando los límites establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Como resultado, se identificó que varias plantas no cumplían de manera sostenida el valor máximo de 5 UNT para agua tratada, principalmente por el uso empírico de coagulantes, la limitada supervisión técnica y la ausencia de protocolos para el ajuste de dosis. Este antecedente aporta a la presente investigación porque evidencia la necesidad de fortalecer el monitoreo operativo, estandarizar las pruebas de jarras y ajustar técnicamente la dosis de sulfato de aluminio en plantas rurales como la PTAP Huancayocc.

Los antecedentes nacionales evidencian que la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio no constituye un resultado estático, sino un comportamiento operativo condicionado por la variabilidad de la calidad del agua cruda y por la respuesta técnica del sistema de tratamiento ante cambios estacionales. En tal sentido, la estacionalidad representa una dimensión de análisis imprescindible, debido a que influye en la turbidez afluente y en la dinámica del proceso de coagulación, pudiendo generar diferencias significativas en el rendimiento de la planta entre la estación seca y la estación húmeda. Bajo este enfoque, la PTAP Huancayocc configura un escenario de especial interés científico y aplicado, puesto que requiere evidencia empírica local que permita comprender el comportamiento real del proceso durante el periodo 2024 a 2025. En consecuencia, el análisis de la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio se justifica por su aporte al conocimiento técnico del desempeño de la planta y por su utilidad para sustentar medidas de optimización operativa orientadas a garantizar una producción de agua potable con mayor estabilidad y calidad.

2.2.2. Locales

En Huanta, Zambrano y Gutiérrez (2021) desarrollaron el estudio “*Evaluación del desempeño del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez en la PTAP de Luricocha, Huanta*”, con el objetivo de analizar el comportamiento del proceso de coagulación con sulfato de aluminio durante la temporada de lluvias. La metodología fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, mediante pruebas de jarras y monitoreo del desempeño de la planta bajo condiciones reales de operación, considerando registros de agua cruda con turbideces superiores a 150 UNT. Como resultado, se obtuvo una eficiencia promedio de remoción de turbidez de 87 %, aunque también se identificaron limitaciones asociadas a la falta de ajuste técnico de la dosificación frente a cambios abruptos en la calidad del agua. Este antecedente aporta a la presente investigación porque evidencia que las plantas de tratamiento ubicadas en la provincia de Huanta requieren monitoreo continuo y ajuste sistemático de la dosis de sulfato de aluminio para mantener la eficiencia del proceso durante periodos de mayor variabilidad estacional.

De forma complementaria, Quispe (2020) desarrolló la investigación “*Control de turbidez en sistemas simplificados de tratamiento de agua en la comunidad de Iguain, Huanta*”, con el objetivo de analizar el control de la turbidez en un sistema rural simplificado que utilizaba sulfato de aluminio como coagulante. La metodología fue de enfoque cuantitativo y diseño aplicado, basada en ensayos de laboratorio, mediciones de turbidez residual y control del pH operativo durante el proceso de tratamiento. Como resultado, se evidenció que la incorporación de criterios técnicos en la dosificación del coagulante y el control del pH permitió reducir la turbidez residual por debajo de 5 UNT, cumpliendo con el límite establecido para agua tratada. Este antecedente aporta a la presente investigación porque demuestra que, incluso en sistemas comunitarios de pequeña escala, el uso del sulfato de aluminio requiere

control operativo y criterios técnicos definidos para garantizar una remoción eficiente de turbidez.

En el distrito de Santillana, Palomino (2019) desarrolló la investigación “*Evaluación del proceso de coagulación en la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de agua potable de San Miguel, Ayacucho*”, con el objetivo de evaluar el desempeño del proceso de coagulación bajo condiciones reales de operación. La metodología fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental aplicado, mediante pruebas de jarras para optimizar la dosis de sulfato de aluminio, además del seguimiento de parámetros como pH, alcalinidad y turbidez del agua cruda. Como resultado, se observaron eficiencias de remoción de hasta 90 %, evidenciando que el ajuste técnico del coagulante mejora el rendimiento del tratamiento incluso en sistemas con limitaciones de infraestructura. Este antecedente aporta a la presente investigación porque confirma que la capacitación del personal operador y el control de parámetros fisicoquímicos son necesarios para sostener la eficiencia del proceso en plantas rurales de la provincia de Huanta.

En Huamanguilla, Ccanto (2021) desarrolló la investigación “*Evaluación de la eficiencia de coagulación con sulfato de aluminio en la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de agua potable de Huamanguilla, Ayacucho*”, con el objetivo de evaluar la eficiencia del proceso de coagulación mediante sulfato de aluminio en la reducción de turbidez. La metodología fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, basada en pruebas de jarras aplicadas a muestras con turbidez inicial entre 60 y 200 UNT, considerando diferentes dosis de coagulante y variaciones del pH del agua cruda. Como resultado, se obtuvo una eficiencia promedio de remoción de 89 %, con mayor rendimiento en muestras cuya turbidez inicial fue superior a 100 UNT y con mejores condiciones de formación de flóculos a pH cercano a 6,5. Este antecedente aporta a la presente investigación porque demuestra que la eficiencia del

sulfato de aluminio depende del ajuste de la dosis, del control del pH y de las características iniciales del agua, aspectos directamente relacionados con el análisis estacional de la PTAP Huancayooc.

En conjunto, estos antecedentes locales reflejan que en la provincia de Huanta existen condiciones climáticas, geográficas y operativas que impactan directamente en la eficiencia de los procesos de coagulación. En todos los casos revisados, la estacionalidad, especialmente durante la temporada de lluvias, representa un factor crítico que incrementa la turbidez del agua cruda y compromete el rendimiento del tratamiento si no se realiza un ajuste técnico adecuado. Asimismo, se evidencia que el uso empírico del sulfato de aluminio sin pruebas previas puede conducir a resultados inconsistentes y riesgos sanitarios.

En ese contexto, la presente investigación en la PTAP Huancayooc – Huanta resulta pertinente y necesaria, ya que busca caracterizar y optimizar la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio bajo condiciones reales y estacionales propias del distrito. Además, se espera que los resultados sirvan como referencia técnica para mejorar la gestión operativa en otras plantas similares de la región altoandina, contribuyendo así a garantizar el acceso a agua potable segura y en cumplimiento con los estándares normativos vigentes.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Estacionalidad climática y variación de la calidad del agua superficial

La estacionalidad climática representa una condición determinante en los sistemas de abastecimiento que utilizan fuentes superficiales, debido a que los cambios de precipitación, temperatura y humedad relativa modifican la dinámica hidrológica de las cuencas. En periodos secos, el aporte de escorrentía suele ser menor y la calidad del agua cruda tiende a presentar menor variabilidad; en periodos húmedos, el incremento de lluvias favorece el arrastre de

partículas, materia orgánica y sedimentos hacia las captaciones, elevando la turbidez del agua que ingresa a las plantas de tratamiento. Esta relación justifica que la estación seca y la estación húmeda sean consideradas como dimensiones de análisis en la presente investigación, debido a su influencia sobre la calidad del agua cruda y sobre la exigencia operativa del tratamiento (SENAMHI, 2025).

2.3.2. Turbidez del agua cruda como parámetro crítico en PTAP

La turbidez es un parámetro físico que expresa la presencia de partículas suspendidas, coloides, arcillas, materia orgánica y otros materiales capaces de dispersar la luz en el agua. En plantas de tratamiento de agua potable, su control resulta fundamental porque una turbidez elevada puede reducir la eficiencia de los procesos de clarificación y afectar la posterior desinfección. Las guías internacionales de calidad de agua potable consideran que la gestión del riesgo debe abordarse desde la fuente hasta el consumidor, por lo que la turbidez del agua cruda constituye un indicador clave para anticipar ajustes en el tratamiento (WHO, 2022).

2.3.3. Calidad del agua superficial y turbidez

La turbidez es uno de los parámetros fundamentales para evaluar la calidad del agua superficial, pues refleja el grado de suspensión de partículas finas, materia coloidal y otros sólidos dispersos que impiden la transparencia del agua (Aquaes, 2024).

En el contexto de abastecimiento de agua potable, altos niveles de turbidez pueden dificultar la penetración de desinfectantes como el cloro, actuando como “escudos” para microorganismos y comprometiendo la seguridad del agua entregada a la población.

En condiciones naturales, la turbidez de una fuente superficial puede variar considerablemente dependiendo de precipitaciones, erosión, escorrentía y otras dinámicas

hidrológicas de la cuenca captadora. Esto es particularmente significativo en cuencas andinas como la de Huancayo (Huanta), donde la estacionalidad hídrica conduce a diferentes cargas de sólidos suspendidos a lo largo del año.

De hecho, aunque muchos estudios analizan turbidez en contextos generales, también se encuentra evidencia de su correlación con otros parámetros de calidad del agua: un análisis indicó correlación significativa entre turbidez, coliformes fecales ($r = 0,70$) y coliformes totales ($r = 0,40$) en una planta de potabilización municipal (Martínez et al. 2019). Esto refuerza la importancia operacional de monitorear turbidez no solo como un indicador estético, sino también como un parámetro que afecta directamente la protección de la salud humana.

2.3.4. Mecanismos de floculación en el tratamiento del agua

La floculación es la etapa operativa que sigue a la coagulación, y su propósito es agrupar partículas finas y coloidales, previamente desestabilizadas, en flóculos más grandes que puedan sedimentar o filtrarse de manera eficiente. El mecanismo se puede desglosar en tres fases: choque y aglutinación, crecimiento de flóculos, y ruptura o compactación de los flóculos (Alliance Chemical, 2023; Metcalf & Eddy, 2022).

- **Choque y aglutinación:** tras la adición del coagulante, se realiza una mezcla rápida («flash mix») para dispersar el reactivo y generar contacto con las partículas coloidales. Durante este tiempo, las cargas de superficie cambian y las partículas comienzan a desestabilizarse.
- **Crecimiento de flóculos:** en la etapa de mezcla lenta («flocculation basin»), se promueven colisiones entre partículas neutralizadas, creando flóculos más grandes. Aquí influyen parámetros de velocidad de agitación, tiempo de floculación, pH, temperatura y química del agua.

- **Ruptura/compactación y sedimentación:** los flóculos deben tener tamaño y densidad suficientes para sedimentar o ser filtrados. Una operación pobre (por ejemplo, con flóculos frágiles o velocidad alta de mezcla) puede reducir la eficiencia del proceso

Para una planta como la PTAP Huancayo, ubicada en área altoandina con variabilidad estacional, esta base teórica implica que en la estación lluviosa, al aumentar la turbidez del agua cruda y probablemente también la carga de partículas finas, la floculación podría demandar tiempos mayores, velocidades de mezcla diferentes o incluso coadyuvantes adicionales para lograr flóculos efectivos. Por ello, medir la eficiencia de esta etapa permitirá vincular la variabilidad estacional con la eficiencia global del tratamiento.

2.3.5. Uso del sulfato de aluminio como coagulante – parámetros operativos y eficacia

El sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), comúnmente denominado “alúmina” en la práctica del tratamiento del agua, es uno de los coagulantes más utilizados mundialmente gracias a su buen desempeño, disponibilidad y coste relativamente bajo (AureChem, 2023). Su acción se basa esencialmente en:

- Liberación de iones Al^{3+} al agua, que neutralizan cargas negativas de partículas coloidales.
- Formación de especies hidróxido-alumináticas, como $Al(OH)_3$, que actúan como puentes entre partículas y facilitan la agregación. (Yehia et al., 2021).
- Sedimentación o filtración de los flóculos formados, reduciendo la turbidez.

Parámetros operativos críticos que afectan su eficiencia incluyen:

- **Dosis de coagulante:** Una dosis insuficiente deja muchas partículas coloidales sin neutralizar; una dosis excesiva puede generar flóculos demasiado densos que se

compactan mal, aumentar el volumen de lodo y dejar aluminio residual en el agua tratada (Mazloomi et al., 2019)

- **pH del agua:** Estudios muestran que el pH óptimo para la remoción de turbidez con sulfato de aluminio suele encontrarse cerca de 6.5-7.5, dependiendo de la alcalinidad del agua. Por ejemplo, en un experimento se obtuvo mejor remoción con $\text{pH} \approx 7.0$, dosis $\approx 63 \text{ mg/L Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y alcalinidad $80 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$.
- **Alcalinidad/Actividad de hidróxido:** Un nivel adecuado de alcalinidad favorece la formación de los hidróxidos de aluminio que promueven la floculación; poca alcalinidad puede reducir la eficiencia operativa.
- **Características del agua cruda:** Mayor turbidez inicial, mayor carga de coloidales, mayor materia orgánica, menores temperaturas, todos estos factores pueden exigir mayores dosis o ajustes operativos. Por ejemplo, en un estudio en aguas con turbidez inicial alta, se logró una remoción excelente ($> 90 \%$) con optimización operativa.

2.3.6. Coagulación-floculación y uso del sulfato de aluminio

El proceso de coagulación–floculación es uno de los pilares del tratamiento del agua en PTAP, orientado a remover sólidos suspendidos y coloidales que generan turbidez. Durante este proceso, se adiciona un coagulante químico que neutraliza cargas eléctricas de las partículas, promoviendo la formación de flóculos que luego sedimentan o se filtran (Carta técnica sobre coagulantes, 2023).

El Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) es uno de los coagulantes químicos más utilizados en el tratamiento de agua potable, por su eficacia, disponibilidad y conocimiento técnico. Según análisis técnicos, su eficacia radica en la generación de hidróxidos de aluminio y otras especies

que actúan como “puente” entre partículas para formar flóculos mayores, favoreciendo la sedimentación.

En el contexto peruano, investigaciones recientes indican que la dosis óptima del sulfato de aluminio depende fuertemente de las características del agua cruda (turbidez inicial, pH, alcalinidad, cargas orgánicas) y del ajuste del proceso de coagulación-floculación. Por ejemplo, un estudio en Huancayooc determinó un porcentaje de remoción de turbidez superior al 98 % con dosis ajustadas de coagulante. Por tanto, en el diseño de la PTAP Huancayooc, resulta esencial definir la dosis operacional de sulfato de aluminio en función de la estacionalidad del agua cruda (variaciones de turbidez, caudal, calidad) para garantizar una eficiencia óptima.

2.3.7. Principios de la coagulación-floculación con sulfato de aluminio

El proceso de coagulación-floculación es una etapa crítica en el tratamiento de agua potable, diseñada para remover partículas finas y coloidales que no se eliminarían por sólo sedimentación o filtración. En ese contexto, el uso de coagulantes como el Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) está ampliamente establecido.

Los mecanismos involucrados incluyen la neutralización de cargas superficiales de las partículas coloidales, la formación de puentes entre partículas mediante hidróxidos de aluminio generados en el agua, y la generación de flóculos de mayor tamaño que puedan sedimentar o filtrarse. (Alliance Chemical, 2023).

El uso operativo del sulfato de aluminio en plantas de tratamiento está sujeto a variables clave: dosis aplicada, pH del agua, tiempo de floculación/sedimentación, calidad del agua cruda (turbidez inicial, sólidos suspendidos totales, alcalinidad) y temperatura. Por ejemplo, múltiples estudios señalan que la dosis óptima varía en función de la turbidez inicial del agua cruda y del pH de coagulación (IJSRD, 2020)

Además, el control de la dosificación es crítico: una dosificación por debajo del óptimo puede dejar turbidez residual elevada; una sobredosificación puede llevar a carga excesiva de aluminio residual, mayor volumen de lodo y costos operativos elevados (Krohne, 2024).

2.3.8. Variación estacional en fuentes de agua superficial y su impacto en el tratamiento

La variabilidad estacional de las fuentes superficiales de agua (ríos, quebradas) es un factor determinante en la operación de las PTAP. En el Perú, los cambios en régimen de lluvias, escorrentía y aportes sólidos generan variaciones en parámetros claves como turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), velocidad del agua y caudal. En temporadas de lluvia, la erosión del suelo incrementa la carga de sedimentos en ríos andinos, elevando la turbidez de la captación (SENAMHI, 2021).

Estas variaciones impactan directamente la eficacia del tratamiento de agua potable: el coagulante puede requerir dosis mayores, los tiempos de sedimentación cambiar y la filtración podría saturarse más rápidamente. Por ejemplo, un estudio de modelamiento en Perú sobre la remoción de turbidez indicó que registros con turbidez inicial elevada y pH no óptimo reducen la eficiencia (Ruiz, 2022).

La estacionalidad hidrológica, entendida como fluctuaciones en caudales, escorrentía, erosión, aporte de sedimentos, precipitaciones y régimen climático, tiene un impacto directo en la calidad del agua cruda captada por una PTAP. En cuencas andinas, las lluvias intensas pueden aumentar la erosión de suelos, transportar mayor cantidad de sólidos suspendidos y elevar repentinamente la turbidez del agua superficial captada.

Este vínculo entre temporada lluviosa y mayor carga de sólidos se traduce en mayores exigencias para las PTAP: mayor consumo químico, mayor tiempo de sedimentación requerido, mayor presión sobre filtros y mayor generación de lodos.

2.3.9. Dinámica de partículas coloidales y su implicancia en la coagulación

Las partículas responsables de la turbidez en el agua cruda, especialmente en fuentes superficiales altoandinas, suelen ser coloidales, es decir, de tamaño muy pequeño (1 nm a 1 μm) y con carga superficial negativa. Estas partículas no se sedimentan fácilmente por gravedad, y su repulsión eléctrica impide la agregación espontánea, lo que representa un desafío para los procesos de clarificación del agua (Metcalf & Eddy, 2022).

En este contexto, la coagulación con sulfato de aluminio permite neutralizar estas cargas mediante especies de aluminio con carga positiva que se forman en solución acuosa. El tipo de especies formadas (como $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$) depende del pH, la alcalinidad y la temperatura del agua, siendo el pH óptimo usualmente entre 6.0 y 7.0 (Yehia et al., 2021).

En contextos peruanos, estudios como el de Taipei (2024) en Huancayo han mostrado que la mayor eficiencia de remoción se alcanza cuando se logra un equilibrio entre neutralización de cargas y formación de flóculos de buen tamaño, lo cual exige una operación finamente ajustada.

2.3.10. Eficiencia de remoción de turbidez mediante sulfato de aluminio

La literatura reciente confirma la alta eficacia del sulfato de aluminio para la remoción de turbidez en diversas condiciones, aunque siempre señalando la necesidad de optimización para cada contexto de agua cruda.

Por ejemplo, un estudio reciente demostró que en aguas sintéticas altamente turbias (≥ 300 UNT) el proceso con dosis de sulfato de aluminio logró una remoción muy alta de turbidez cuando se combinó con adecuados tiempos de sedimentación (ScienceDirect, 2024)

Otro trabajo que evaluó la optimización del proceso mediante modelos de redes neuronales para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio reportó remociones superiores al 93 % en la mayoría de los casos (IJESD, 2021)

En un contexto peruano, aunque el foco fue tratamiento de efluente minero, un estudio en Camasca mostró que una dosis de 27 mg/L de sulfato de aluminio dio como resultado una turbidez residual de 1,51 UNT, con eficiencia de 79,73 % (Alanya, 2024)

Estos antecedentes refuerzan la hipótesis de que la PTAP Huancayo puede alcanzar una alta eficiencia en remoción de turbidez mediante sulfato de aluminio, siempre que se considere un ajuste según la calidad del agua cruda y las condiciones estacionales.

2.3.11. Variables operativas y condiciones del agua cruda que afectan la eficiencia del tratamiento

Para comprender la variación de eficiencia en la remoción de turbidez, es indispensable incorporar una serie de variables operativas y de calidad del agua cruda, tales como:

- Dosis del coagulante (sulfato de aluminio): una dosis ajustada es clave. Estudios señalan que la dosificación debe adaptarse a la turbidez inicial del agua cruda para lograr resultados óptimos. (IJSRD, 2020)
- pH del agua de coagulación: el pH gobierna el estado de hidrólisis del aluminio y por tanto la efectividad del coagulante. Valores óptimos suelen encontrarse alrededor de pH 6–7 en muchas experiencias. (IJSRD, 2020)
- Turbidez inicial del agua cruda: mayor turbidez implica mayor carga de partículas coloidales, lo que exige mayor dosis o mayor tiempo de floculación. (ScienceDirect, 2024).

- Alcalinidad y dureza del agua: estos parámetros afectan la coagulación al modificar la formación de hidróxidos. Poca alcalinidad puede reducir la eficacia del proceso.
- Tiempo de sedimentación/floculación y velocidad de mezcla: tiempos insuficientes pueden generar flóculos pequeños poco estables; una velocidad de mezcla adecuada favorece la colisión de partículas y formación de flóculos.
- Temperatura del agua y caudal: Menores temperaturas pueden ralentizar procesos de floculación; variaciones de caudal pueden impactar en los tiempos nominales de sedimentación.
- Generación de lodos y disposición: aunque no directamente la turbidez residual, la operación eficiente debe considerar que dosis elevadas generan mayor volumen de lodo, lo que afecta costos y manejo de planta.

2.3.12. Normativas y estándares sobre tratamiento de agua potable

En el Perú, la normativa vigente para la calidad del agua potable está regulada principalmente por el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, que aprueba el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Esta norma, emitida por el Ministerio de Salud, establece los parámetros microbiológicos, físicos y químicos que debe cumplir el agua tratada, entre ellos la turbidez, cuyo límite máximo permisible es de 5 unidades nefelométricas (UNT) para el agua que llega al consumidor (MINSAL, 2010).

Adicionalmente, la Norma Técnica Peruana NTP 214.006:2001 establece el método oficial para la medición de la turbidez mediante técnica nefelométrica. Esta herramienta es de uso obligatorio en el monitoreo de calidad del agua en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP).

En contextos rurales y altoandinos, donde las plantas operan con recursos limitados, es común encontrar dificultades para cumplir sostenidamente con los límites normativos, especialmente durante la temporada de lluvias, en la cual la turbidez del agua cruda aumenta de manera significativa. Esta situación ha sido documentada por instituciones como la SUNASS (2022) y el MINAM (2023), que advierten sobre el bajo cumplimiento del estándar de turbidez en sistemas rurales no optimizados.

Por tanto, las PTAP como la de Huancayooc deben ajustar su operación según la estacionalidad climática para asegurar el cumplimiento de la normativa nacional. Esto implica adaptar la dosis del coagulante (sulfato de aluminio), controlar parámetros críticos como el pH y la alcalinidad, y fortalecer el monitoreo técnico del proceso.

2.3.13. Impactos del cambio climático en la calidad del agua cruda

El cambio climático está afectando de forma directa la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos en el Perú. Las alteraciones en el régimen de lluvias, el derretimiento glaciar y la mayor frecuencia de eventos extremos generan cambios en los caudales y en la carga de sólidos de los cuerpos de agua superficiales (Nature Communications, 2023).

En zonas como Huanta, estos efectos se traducen en una mayor variabilidad estacional de la turbidez, lo cual debe ser considerado en la planificación y operación de las PTAP. Ignorar estos cambios podría comprometer la eficiencia del tratamiento y la seguridad sanitaria de la población.

2.4. Definición de términos

- **Agua cruda:** Corresponde al agua captada directamente de fuentes naturales (superficiales o subterráneas) sin haber recibido ningún tipo de tratamiento. En la

investigación, se considera el agua procedente de la microcuenca de Huancayo antes de ser sometida a procesos como coagulación y filtración.

- **Turbidez:** Propiedad óptica del agua relacionada con la presencia de partículas suspendidas que dispersan la luz. Se mide en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) y es un indicador clave de la calidad del agua cruda y tratada. Valores altos de turbidez pueden interferir con la desinfección y ser indicativos de contaminación (WHO, 2021).
- **Coagulación:** Proceso químico mediante el cual se adiciona un coagulante (como el sulfato de aluminio) para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua, las cuales tienen cargas eléctricas que impiden su agregación natural. Este proceso facilita la formación de flóculos más grandes y sedimentables (Metcalf & Eddy, 2022).
- **Floculación:** Proceso físico posterior a la coagulación, que consiste en la agitación lenta y controlada del agua para favorecer la colisión y unión de partículas desestabilizadas, formando flóculos de mayor tamaño. Esta etapa es clave para lograr una buena sedimentación y, por ende, una remoción eficaz de turbidez (Yehia et al., 2021).
- **Sulfato de aluminio:** Compuesto químico inorgánico ($Al_2(SO_4)_3$) utilizado como coagulante en el tratamiento de agua potable. Su eficacia se basa en la formación de hidróxidos de aluminio que neutralizan las cargas negativas de los coloides y promueven la aglomeración de partículas. Su uso debe estar cuidadosamente dosificado para evitar residuos en el agua tratada y minimizar la generación de lodos (AureChem, 2023).

- **Eficiencia de remoción de turbidez:** Indicador que expresa el porcentaje de reducción de la turbidez del agua cruda tras el tratamiento, en función de la diferencia entre la turbidez de entrada y la de salida.
- **Estacionalidad:** Condición natural del clima que implica cambios cíclicos entre periodos secos y húmedos a lo largo del año. En la región de Huanta, la estación seca abarca los meses de mayo a septiembre, mientras que la estación lluviosa se extiende de octubre a abril (SENAMHI, 2023). Esta variable influye directamente en la calidad del agua cruda y, por tanto, en la eficiencia del tratamiento.
- **Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP):** Infraestructura técnico-operativa destinada a transformar agua cruda en agua apta para el consumo humano. Incluye procesos como captación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En este estudio, se analiza la PTAP Huancayoccc, que abastece a una parte importante de la población del distrito de Huanta.
- **Variación estacional:** Es el cambio medible que presenta una variable entre periodos climáticos diferenciados, como la estación seca y la estación húmeda, debido a variaciones de precipitación, temperatura y humedad relativa (Organización Meteorológica Mundial, 2021). En esta investigación, se refiere a las diferencias en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayoccc, según las condiciones climáticas registradas entre junio de 2024 y febrero de 2025 (SENAMHI, 2025).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, porque analizó un problema operativo concreto relacionado con la eficiencia de remoción de turbidez mediante sulfato de aluminio en la PTAP Huancayocc, con el propósito de generar información útil para la mejora del tratamiento de agua potable. Según Arias Gonzáles y Covinos Gallardo (2021), la investigación aplicada utiliza conocimientos científicos para atender problemas específicos de la realidad.

El nivel fue descriptivo comparativo, debido a que se caracterizó la turbidez del agua cruda, la turbidez filtrada y la eficiencia de remoción, comparando su comportamiento entre la estación seca y la estación húmeda. Asimismo, el diseño fue no experimental, longitudinal y retrospectivo, porque no se manipularon variables, se analizaron registros de varios meses consecutivos y se trabajó con información operativa ya registrada por la planta durante el periodo junio de 2024 a febrero de 2025, lo cual es coherente con los diseños orientados a observar fenómenos en su contexto natural y a través del tiempo (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2021).

3.2. Ámbito temporal y espacial

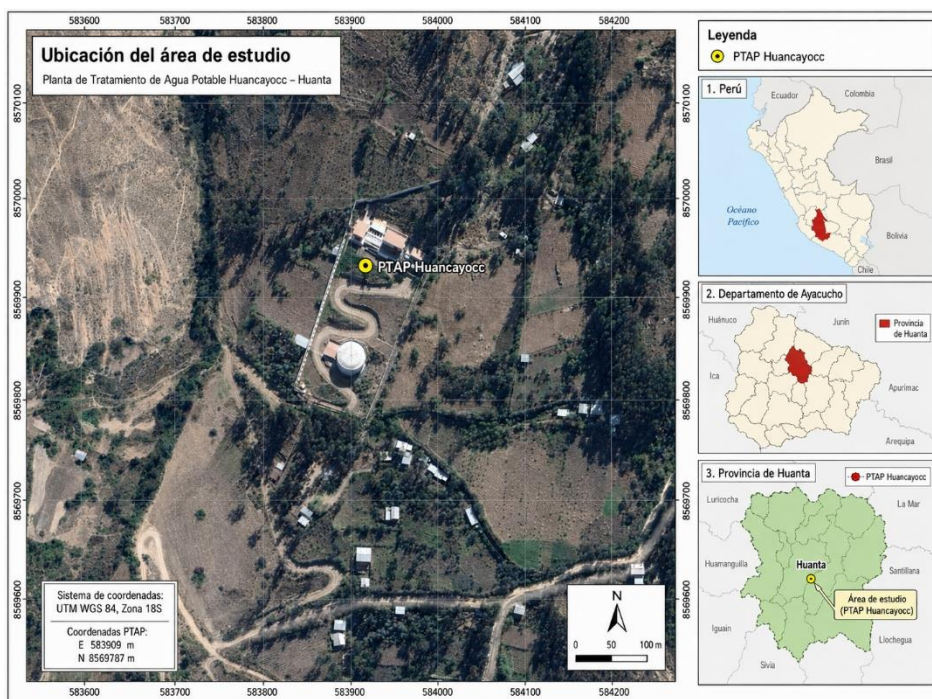
3.2.1. Ámbito espacial

La presente investigación se desarrolló en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayocc, ubicada en el distrito de Huanta, provincia de Huanta, región Ayacucho, al sur del Perú. Esta planta forma parte del sistema de abastecimiento de agua potable que atiende a una parte significativa de la población urbana del distrito, desempeñando un papel esencial en la provisión de agua segura para el consumo humano.

La PTAP Huancayocc se abastece de una fuente superficial ubicada en la microcuenca del río Huanta, específicamente en la zona de Huancayocc, a una distancia aproximada de 3 km al sureste de la ciudad de Huanta. La planta está conectada a través de una infraestructura de conducción y almacenamiento que forma parte del sistema local de saneamiento. Su localización geográfica se encuentra en una zona altoandina, con una altitud promedio de entre 2 600 y 2 900 metros sobre el nivel del mar, lo cual incide directamente en las condiciones climáticas que afectan el tratamiento del agua, como la temperatura, la estacionalidad de las lluvias y la escorrentía superficial. La elección de este espacio obedeció a la necesidad de analizar el desempeño real del proceso de coagulación en un sistema rural de altura, expuesto a condiciones de operación cambiantes y con limitaciones técnicas, pero con un rol fundamental en la salud pública local. Además, se trata de una planta que hasta la fecha no ha sido evaluada sistemáticamente en función de su eficiencia estacional, lo que refuerza la pertinencia de este estudio como base técnica para mejorar su desempeño operativo.

Figura 1

Ubicación de la PTAP



3.2.2. Ámbito temporal

El ámbito temporal de la investigación abarcó el período comprendido entre junio de 2024 y febrero de 2025, cubriendo así ambas estaciones climáticas características de la región: la estación seca, generalmente entre los meses de mayo a septiembre, y la estación húmeda, que se extiende desde octubre hasta abril.

Este periodo fue definido estratégicamente con el fin de captar la variación estacional de la turbidez del agua cruda, y analizar cómo estas condiciones afectan la eficiencia de remoción de turbidez mediante el proceso de coagulación con sulfato de aluminio.

Asimismo, el diseño temporal adoptado permitió un seguimiento longitudinal del desempeño operativo de la PTAP, y proporciona un marco adecuado para aplicar análisis estadísticos que identifiquen patrones de eficiencia, correlaciones entre variables, y diferencias significativas entre ambas estaciones. Esta temporalidad es suficiente para obtener datos representativos, identificar tendencias y proponer ajustes técnicos basados en evidencia.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de la investigación estuvo constituida por el conjunto total de registros mensuales de las condiciones fisicoquímicas del agua cruda y tratada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayocc – Huanta, durante el periodo comprendido entre junio de 2024 y febrero de 2025.

Estos registros incluyeron mediciones de parámetros como turbidez (UNT), tomadas indirectamente de los registros operativos en campo por el personal técnico de la planta, así

como controles internos de calidad del agua, los cuales forman parte del sistema de monitoreo técnico que opera regularmente en la PTAP.

En términos operativos, se considera como unidad de análisis cada par de muestras mensuales (agua cruda y agua tratada), correspondiente a una fecha específica de monitoreo. Por lo tanto, la población estuvo compuesta por 18 pares de observaciones (09 de agua cruda y 09 de agua tratada), distribuidas uniformemente a lo largo del periodo de estudio.

3.3.2. Muestra

La muestra del presente estudio estuvo conformada por un conjunto de registros mensuales de muestras de agua cruda y agua tratada, recolectados durante un periodo continuo de 09 meses, correspondiente al periodo hidrológico junio de 2024 a febrero de 2025, en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayoccc – Huanta. Este periodo permitió representar adecuadamente las dos estaciones climáticas predominantes en la región: la estación seca y la estación húmeda, garantizando así la observación de la variabilidad estacional del proceso de coagulación.

a. Cálculo del tamaño muestral

El tamaño muestral estuvo conformado por la totalidad de registros diarios disponibles de turbidez del agua cruda y turbidez del agua filtrada de la PTAP Huancayoccc, correspondientes al periodo junio de 2024 a febrero de 2025. Por ello, no se aplicó una fórmula probabilística para poblaciones finitas, debido a que se trabajó con una muestra censal, incorporando todos los datos operativos registrados durante el periodo de estudio.

En total se analizaron 273 registros diarios pareados, cada uno compuesto por un valor de turbidez del agua cruda y un valor de turbidez del agua filtrada. De estos, 122 registros

correspondieron a la estación seca, distribuidos en junio, julio, agosto y septiembre de 2024, mientras que 151 registros correspondieron a la estación húmeda, distribuidos entre octubre de 2024 y febrero de 2025. A partir de estos registros se calculó la eficiencia diaria de remoción de turbidez con sulfato de aluminio.

La distribución de los datos fue la siguiente:

Estación	Meses considerados	Número de registros diarios pareados
Seca	Junio, julio, agosto y septiembre de 2024	122
Húmeda	Octubre, noviembre y diciembre de 2024, enero y febrero de 2025	151
Total	Junio de 2024 a febrero de 2025	273

b. Tipo de muestra y estrategia de recolección

La muestra correspondió a una muestra censal de registros operativos diarios, debido a que se consideró la totalidad de datos disponibles de turbidez del agua cruda y turbidez del agua filtrada de la PTAP Huancayoc, correspondientes al periodo del 1 de junio de 2024 al 28 de febrero de 2025. En total, se trabajó con 273 registros diarios pareados, de los cuales 122 pertenecieron a la estación seca y 151 a la estación húmeda, lo que permitió comparar el comportamiento del tratamiento en condiciones climáticas diferenciadas.

Cada registro diario pareado estuvo conformado por la medición de turbidez del agua cruda, registrada antes del proceso de coagulación, y la turbidez del agua filtrada, registrada después del tratamiento con sulfato de aluminio. Asimismo, se consideró la dosis operativa de sulfato de aluminio consignada en los registros de planta, expresada en ppm, con la finalidad de relacionar el desempeño del coagulante con la eficiencia de remoción de turbidez.

La unidad de análisis estuvo constituida por cada registro diario de operación de la PTAP Huancayo. La estrategia de recolección fue documental, ya que la información se obtuvo de los registros operativos disponibles en la planta y no de una nueva toma experimental de muestras. Por ello, no se seleccionó una submuestra, sino que se incorporó la totalidad de registros válidos del periodo de estudio, en concordancia con el diseño no experimental, longitudinal y retrospectivo de la investigación (Arias González & Covinos Gallardo, 2021).

c. Distribución estacional de las muestras

Con la finalidad de analizar la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez, los 18 registros fueron organizados según el periodo climático al que correspondían, diferenciándose entre estación seca y estación húmeda. Esta distribución permitió evaluar el comportamiento del proceso de tratamiento en función de las condiciones estacionales presentes durante el periodo de estudio.

- Estación seca: se incluyeron registros de los meses tradicionalmente más secos según el patrón climático regional (junio, julio, agosto y septiembre de 2024), en los cuales la precipitación es mínima.
- Estación húmeda: se consideraron los meses de mayor pluviosidad (octubre 2024 a febrero 2025), cuando se espera una mayor carga de sólidos suspendidos en el agua cruda, y, por tanto, un mayor desafío para el proceso de coagulación.

Esta distribución permitió observar el comportamiento del tratamiento bajo condiciones contrastantes de calidad de agua, generadas por la estacionalidad, lo que resulta clave para determinar si la eficiencia del sulfato de aluminio se mantiene constante o requiere ajustes técnicos periódicos.

La estrategia adoptada permitió obtener una base de datos robusta para realizar análisis estadísticos descriptivos e inferenciales, cumpliendo con los requisitos metodológicos del enfoque cuantitativo del estudio. Además, garantiza la validez de los resultados, al estar sustentados en datos reales, representativos de todo el ciclo anual de operación de la PTAP Huancayocc.

3.4. Técnicas e instrumentos

En la presente investigación se emplearon técnicas e instrumentos acordes con el enfoque cuantitativo y el diseño no experimental, longitudinal y retrospectivo, debido a que el análisis se basó en registros operativos diarios de turbidez del agua cruda, turbidez del agua filtrada y dosis de sulfato de aluminio de la PTAP Huancayocc, correspondientes al periodo junio de 2024 a febrero de 2025. Estas técnicas permitieron organizar información objetiva, medible y comparable para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez entre la estación seca y la estación húmeda.

La técnica principal fue la revisión documental, mediante la cual se recopiló información de los registros operativos de la planta, reportes de control de calidad del agua y datos meteorológicos correspondientes al periodo de estudio. De manera complementaria, se aplicó la sistematización estadística de datos, que permitió ordenar los registros, calcular la eficiencia diaria de remoción de turbidez y comparar los resultados según la estacionalidad climática

Técnica	Instrumento	Información registrada	Finalidad
Revisión documental de registros operativos	Ficha de registro de turbidez	Fecha, estación climática, turbidez del agua cruda, turbidez del agua filtrada y dosis de sulfato de aluminio	Obtener los datos base para calcular la eficiencia de remoción de turbidez
Revisión documental meteorológica	Ficha de registro meteorológico	Temperatura, humedad relativa y precipitación del periodo junio de 2024 a febrero de 2025	Clasificar los registros según estación seca y estación húmeda
Sistematización de datos	Matriz de procesamiento en Microsoft Excel	Base de datos diaria, promedios mensuales, promedios estacionales y eficiencia de remoción	Organizar, depurar y calcular los indicadores del estudio
Análisis estadístico	Software estadístico SPSS o R Studio	Estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y comparación entre estaciones	Determinar diferencias en la eficiencia de remoción entre estación seca y húmeda

3.4.1. Materiales y equipos de muestreo

La investigación contempló el uso de equipos portátiles certificados y materiales específicos para la toma, conservación y análisis de las muestras, tanto en campo como en laboratorio, conforme a los protocolos técnicos establecidos por la APHA (2017) y las directrices nacionales (DS N° 031-2010-SA), los cuales fueron implementados por el personal operativo de la PTAP. A continuación, se detallan los recursos utilizados:

a) Equipos principales

- Turbidímetro digital (modelo HACH 2100Q): Equipo utilizado para medir la turbidez del agua en unidades nefelométricas (UNT), antes y después del tratamiento. Su alta precisión lo hace adecuado para fuentes con turbidez variable, como es el caso de Huancayocc.
- Multiparámetro portátil HACH HQ Series: Instrumento empleado para medir in situ parámetros clave como el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura del agua, variables que influyen directamente en el proceso de coagulación.

- Colorímetro digital Pocket II: Equipo utilizado para la medición del color aparente del agua en unidades Hazen, antes y después del proceso de tratamiento.

b) Materiales de muestreo y análisis

- Frascos de muestreo (1 litro, estériles): Utilizados para recolectar muestras de agua cruda y tratada. Fueron debidamente rotulados y almacenados en condiciones de conservación controladas para evitar alteraciones.
- Conservadora portátil con hielo seco: Empleada para el transporte de las muestras desde la planta hasta el punto de análisis, garantizando su integridad térmica.
- Vasos y cilindros de vidrio para jar test: Usados para replicar el proceso de coagulación en laboratorio, simulando diferentes dosis de sulfato de aluminio y permitiendo observar la formación de flóculos y la sedimentación.
- Pipetas, buretas y probetas graduadas: Material de laboratorio indispensable para la dosificación precisa del coagulante y de los reactivos empleados durante los ensayos.

c) Reactivos y soluciones

- Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$): Coagulante utilizado para el tratamiento, aplicado tanto en campo como en laboratorio en distintas concentraciones. Las dosis se prepararon siguiendo procedimientos técnicos de dilución.

3.5. Procedimientos

La investigación se desarrolló con enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel descriptivo-comparativo, diseño no experimental, longitudinal y retrospectivo. La unidad de análisis estuvo constituida por los registros diarios de turbidez cruda y filtrada de la PTAP

Huancayoc correspondientes al periodo junio de 2024 a febrero de 2025. Los registros fueron clasificados en estación seca (junio a septiembre de 2024) y estación húmeda (octubre de 2024 a febrero de 2025). La eficiencia de remoción se calculó diariamente mediante la fórmula $[(\text{Turbidez cruda} - \text{Turbidez filtrada}) / \text{Turbidez cruda}] \times 100$; posteriormente, se obtuvieron promedios mensuales y estacionales para el análisis comparativo. A continuación, se describen las etapas del procedimiento:

a) Recolección documental de registros operativos

- Se solicitó oficialmente el acceso a los informes mensuales de monitoreo de calidad del agua elaborados por el equipo técnico de la PTAP Huancayoc. Estos informes incluyeron datos sobre: Turbidez del agua cruda y tratada (en UNT), y Dosis aplicada de sulfato de aluminio (mg/L)
- Se revisaron 09 pares de registros mensuales (junio 2024 – febrero 2025), correspondientes a 09 meses consecutivos de operación, asegurando una cobertura significativa en la colecta de datos.

a. Clasificación estacional de los datos

- Con base en la caracterización climática de la región, los datos fueron clasificados según la estación del año:
 - o Estación seca: junio a septiembre (2024).
 - o Estación húmeda: octubre (2024) a febrero (2025).
- Esta clasificación permitió organizar la base de datos para realizar comparaciones significativas entre los periodos de baja y alta pluviosidad, que influyen

directamente en la calidad del agua cruda y, por ende, en la eficiencia del tratamiento.

b) Consolidación y organización de la base de datos

- Los registros recopilados fueron organizados en una matriz digital elaborada en Microsoft Excel, diferenciando:
 - o Mes de registro.
 - o Tipo de muestra (agua cruda y tratada).
 - o Estación climática (seca o húmeda).
 - o Valores medidos y condiciones operativas.

- Se codificaron los datos por mes y se sistematizaron para facilitar el análisis comparativo y estadístico.

c) Cálculo de la eficiencia de remoción de turbidez

- Para cada par de registros mensuales (agua cruda y tratada), se calculó la eficiencia de remoción de turbidez (%), utilizando la siguiente fórmula estándar:

$$Eficiencia (\%) = \frac{T_{cruda} - T_{tratada}}{T_{cruda}} \times 100$$

- Este indicador permitió evaluar objetivamente el rendimiento del proceso de coagulación con sulfato de aluminio durante los distintos meses del periodo evaluado.

Figura 2

Evidencia del proceso de recolección de datos de campo en la PTAP Huancayocc, Huanta

**Figura 3**

Recolección de datos en las unidades operativas de la PTAP Huancayocc

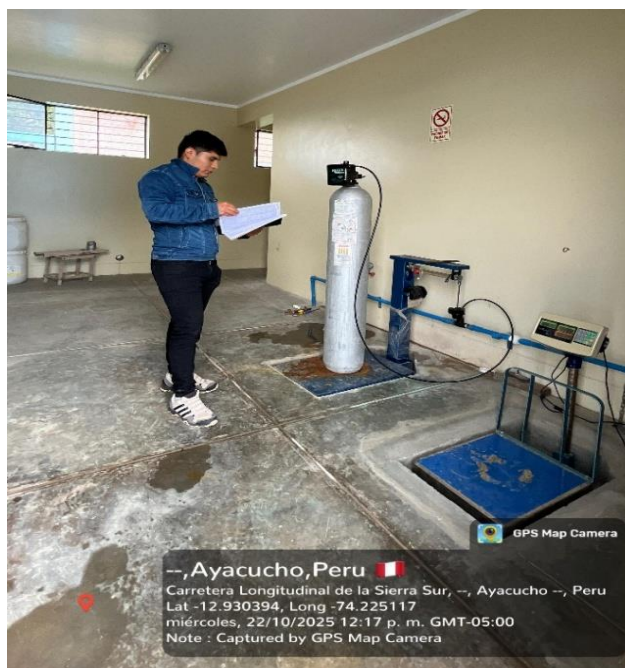


Figura 4

Verificación de las condiciones operativas en la PTAP Huancayocc durante el trabajo de campo

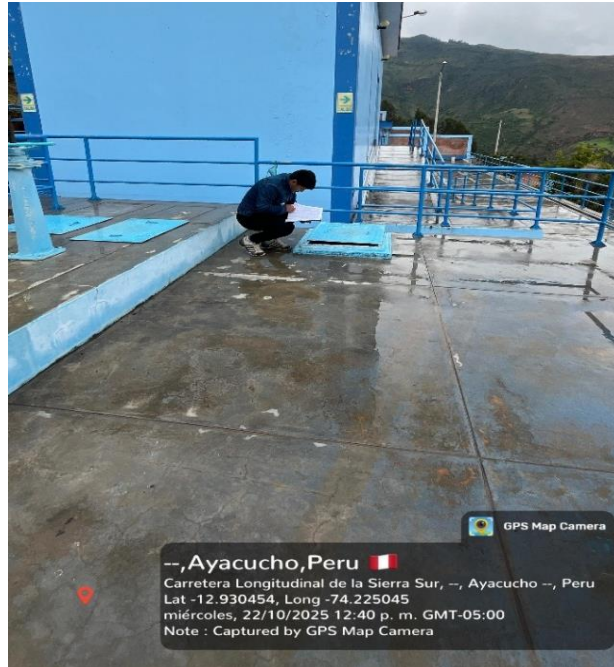


Figura 5

Revisión y sistematización de datos durante el trabajo de campo en la PTAP Huancayocc, Huanta



3.6. Análisis de datos

El análisis estadístico desarrollado en esta investigación permitió procesar, interpretar y contrastar la información contenida en los registros técnicos mensuales de la PTAP Huancayooc, correspondientes al periodo junio de 2024 a febrero de 2025. Este análisis se dividió en dos niveles complementarios: análisis descriptivo y análisis inferencial, los cuales permitieron, por un lado, caracterizar el comportamiento general de las variables en estudio y, por otro, comprobar hipótesis estadísticas sobre la eficiencia del tratamiento en condiciones estacionales contrastantes (seca y húmeda).

a) Análisis descriptivo

El análisis descriptivo permitió obtener una visión global y detallada del comportamiento de las variables físico-químicas analizadas a lo largo de los 09 meses de evaluación, considerando ambos tipos de muestra: agua cruda (antes de la adición del sulfato de aluminio) y agua tratada (después del proceso de coagulación). Esta etapa fue esencial para comprender las fluctuaciones mensuales y los cambios estacionales en la calidad del agua y en la eficiencia del tratamiento.

Para ello, se aplicaron las siguientes técnicas estadísticas:

- **Medidas de tendencia central:** Se calculó la media aritmética mensual correspondiente a la turbidez (UNT), y la eficiencia de remoción de turbidez (%). Esto permitió identificar los valores promedio que caracterizaron el parámetro evaluado en condiciones operativas reales.
- **Medidas de dispersión:** Se estimó la desviación estándar de cada variable para evaluar el grado de variabilidad en los datos a lo largo del periodo de análisis. Esta medida

permitió identificar la consistencia (o inestabilidad) de los parámetros en diferentes estaciones.

- Medidas de posición: Se determinaron los valores mínimos y máximos registrados para cada variable, lo que permitió delimitar los rangos operativos observados en la planta, así como detectar valores extremos o atípicos que pudieran influir en el desempeño del tratamiento.

Este análisis permitió no solo caracterizar los niveles generales de las variables, sino también identificar patrones mensuales, tendencias estacionales y posibles desviaciones significativas en la operación de la planta.

b) Análisis inferencial

Con el propósito de contrastar las hipótesis de investigación, previamente se evaluó la normalidad de los datos correspondientes a la turbidez del agua cruda, turbidez del agua filtrada y eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio. Debido a que se trabajó con 273 registros diarios, distribuidos en estación seca y estación húmeda, se aplicó la prueba de Kolmogorov Smirnov con corrección de Lilliefors, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Este procedimiento permitió determinar si los datos presentaban una distribución normal y, en función de ello, seleccionar las pruebas estadísticas inferenciales más adecuadas.

Cuando los datos cumplieron el supuesto de normalidad, se aplicaron pruebas paramétricas. Para comparar la eficiencia de remoción de turbidez entre la estación seca y la estación húmeda, se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes, debido a que los registros correspondieron a dos grupos estacionales distintos. Asimismo, para evaluar la reducción de la turbidez antes y después del tratamiento, se empleó la prueba t de Student para

muestras relacionadas, considerando los pares de datos conformados por turbidez del agua cruda y turbidez del agua filtrada.

De manera complementaria, se aplicó regresión lineal simple para analizar la relación entre la turbidez del agua cruda y la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio. Este análisis permitió identificar la tendencia del desempeño del tratamiento frente a cambios en la calidad del agua de ingreso a la PTAP Huancayoc. Todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y un nivel de confianza del 95 %, utilizando Microsoft Excel para la organización de la base de datos y SPSS para el procesamiento estadístico.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación de la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Huancayoc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir del análisis de los registros operativos de la PTAP Huancayoc – Huanta durante el periodo junio de 2024 a febrero de 2025, diferenciando claramente el comportamiento del sistema en la estación seca y en la estación húmeda.

La Tabla 2 presenta el registro climatológico del área de estudio durante el periodo junio de 2024 a febrero de 2025, organizado según estación seca y estación húmeda. En la estación seca, comprendida entre junio y setiembre de 2024, se observaron temperaturas máximas promedio entre 25,97 °C y 31,04 °C, temperaturas mínimas entre 5,46 °C y 9,12 °C, humedades relativas promedio de 61,16 % a 88,71 % y precipitaciones mensuales prácticamente nulas, con valores entre 0,00 y 0,26 mm/mes. Estos resultados evidencian condiciones atmosféricas de menor aporte pluvial y menor humedad relativa, características propias de un periodo seco.

En la estación húmeda, correspondiente a octubre de 2024 a febrero de 2025, se registraron temperaturas máximas promedio entre 27,94 °C y 31,81 °C y temperaturas mínimas entre 10,33 °C y 11,73 °C, superiores a las observadas en la estación seca. Asimismo, la humedad relativa promedio aumentó de manera sostenida, alcanzando valores entre 90,15 % y 95,08 %, mientras que la precipitación promedio mensual se incrementó progresivamente desde 0,44 mm/mes en octubre hasta 3,86 mm/mes en enero, manteniéndose elevada en febrero

con 3,56 mm/mes. Este comportamiento confirma un escenario climático más húmedo, con mayor disponibilidad de humedad atmosférica y presencia de lluvias.

En conjunto, los datos climatológicos muestran una diferenciación estacional marcada en el área de estudio, principalmente por el aumento de la humedad relativa, la precipitación y la temperatura mínima durante la estación húmeda. Estas variaciones resultan relevantes para la investigación, debido a que pueden influir en la calidad del agua cruda y en el comportamiento del proceso de coagulación con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayo.

Tabla 2

Registro climatológico en el área de estudio

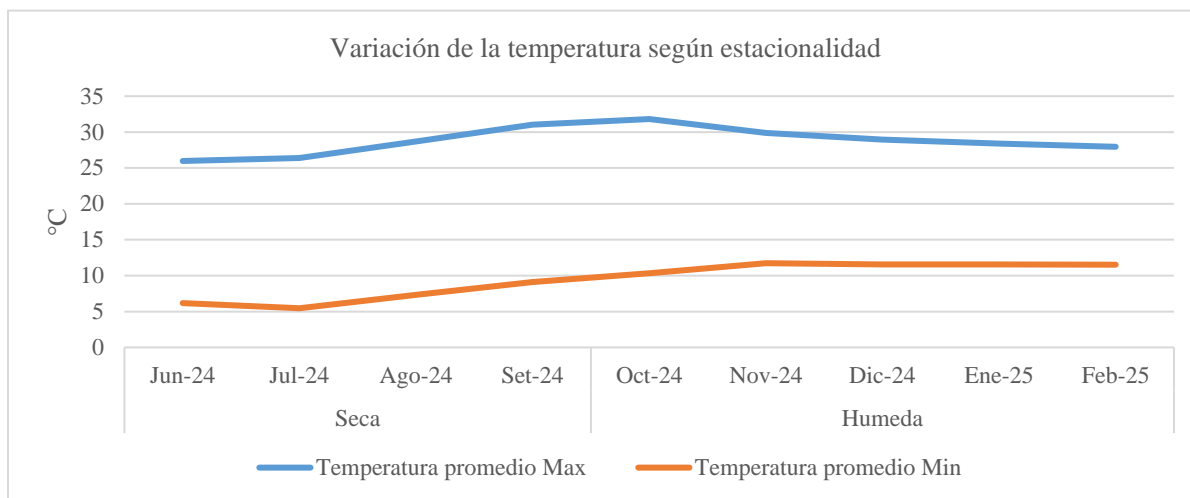
Época	Mes	Temperatura promedio		Humedad relativa promedio (%)	Precipitación promedio (mm/mes)
		Max	Min		
Seca	Jun-24	25.97	6.18	64.74	0.18
	Jul-24	26.37	5.46	61.16	0.00
	Ago-24	28.7	7.34	66.09	0.00
	Set-24	31.04	9.12	88.71	0.26
	Oct-24	31.81	10.33	94.47	0.44
Húmeda	Nov-24	29.89	11.73	95.08	2.04
	Dic-24	28.94	11.55	93.24	2.88
	Ene-25	28.39	11.55	90.15	3.86
	Feb-25	27.94	11.51	91.98	3.56

Nota. Elaboración propia con base en datos de SENAMHI (2025).

En primer lugar, se caracterizaron las condiciones climáticas del área de estudio para entender el contexto de variación de la calidad del agua cruda. Durante la estación seca (junio–septiembre de 2024), la temperatura máxima promedio osciló aproximadamente entre 25,9 °C y 31,0 °C, mientras que la temperatura mínima varió entre 5,5 °C y 9,1 °C. La humedad relativa promedio se mantuvo entre 61,2 % y 88,7 %, con precipitaciones mensuales prácticamente nulas, inferiores a 0,30 mm/mes, tal como se observa en la Figura 6.

Figura 6

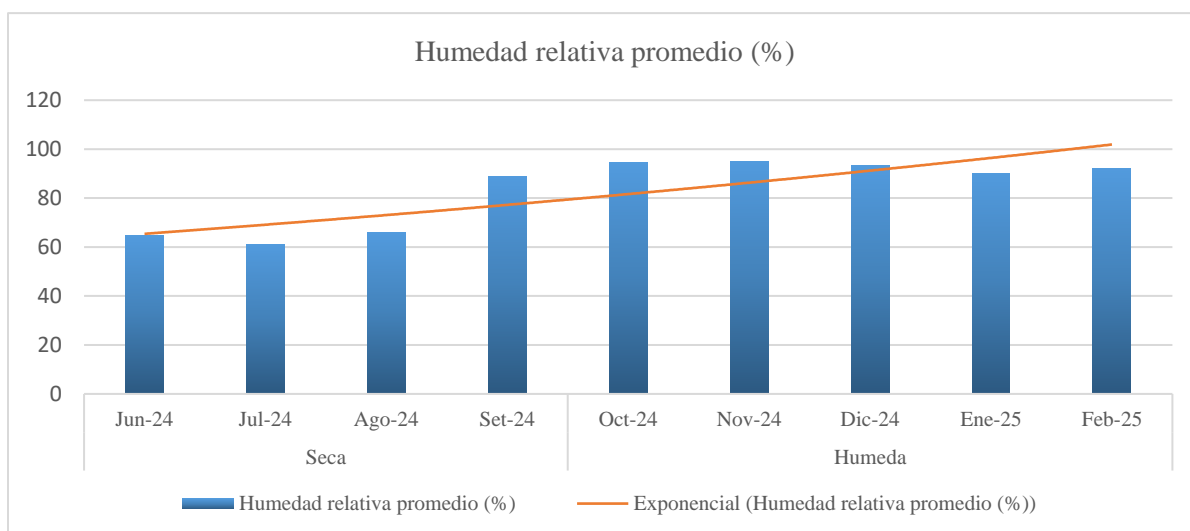
Variación de la temperatura según estación



En la estación húmeda (octubre de 2024 a febrero de 2025), la humedad relativa se mantuvo alta, entre 90,1 % y 95,1 %, y la precipitación mensual aumentó desde 0,44 mm/mes en octubre hasta 3,86 mm/mes en enero, con valores todavía elevados en febrero (3,56 mm/mes). Estas condiciones justifican el incremento de escorrentía y de aporte de sedimentos en la fuente superficial durante la estación húmeda, como se observa en la Figura 7.

Figura 7

Variación de la humedad relativa por estación

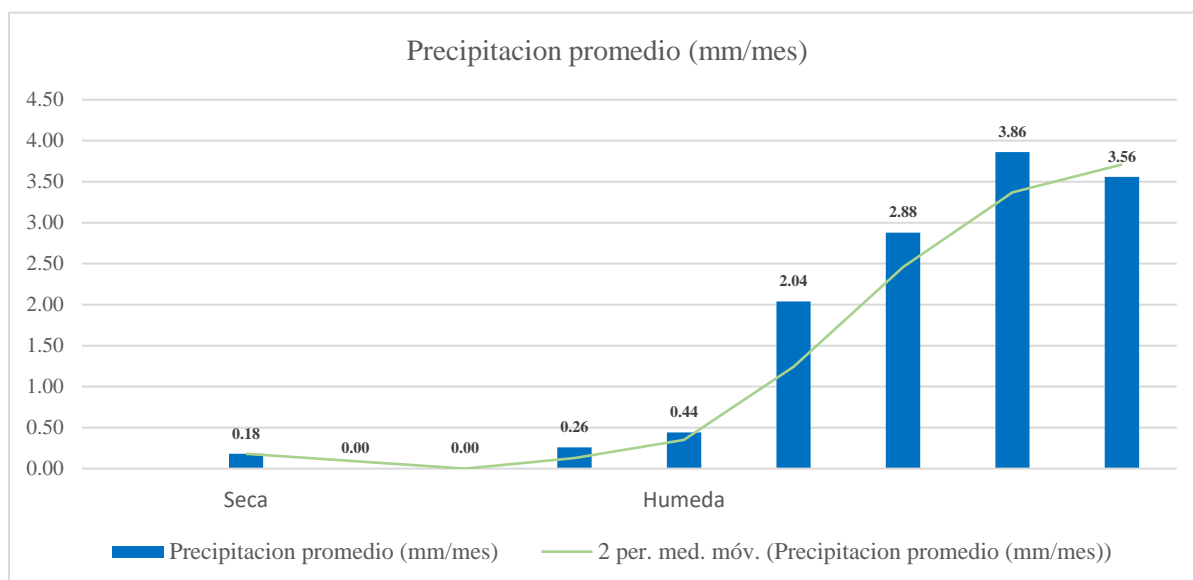


La Figura 8 muestra la variación de la precipitación promedio mensual en Huanta según la estacionalidad durante el periodo de estudio. En la estación seca, los valores de precipitación fueron mínimos, registrándose 0,18 mm/mes en junio, 0,00 mm/mes en julio y agosto, y 0,26 mm/mes en setiembre. En cambio, en la estación húmeda se observa un incremento progresivo de la precipitación, con 0,44 mm/mes en octubre, 2,04 mm/mes en noviembre, 2,88 mm/mes en diciembre, 3,86 mm/mes en enero y 3,56 mm/mes en febrero.

Estos resultados evidencian una diferencia estacional marcada en el comportamiento de la precipitación del área de estudio. Mientras que la estación seca presenta ausencia o niveles muy bajos de lluvia, la estación húmeda concentra los mayores registros pluviométricos, alcanzando su punto máximo en enero. La línea de tendencia confirma este comportamiento ascendente, mostrando un incremento sostenido de la precipitación a medida que avanza el periodo húmedo, tal como se visualiza en la Figura 8.

Figura 8

Variación de la precipitación por estación en Huanta



4.1.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez durante la estación seca en la PTAP Huancayocc, Huanta, durante el periodo 2024 - 2025

Durante la estación seca (junio–septiembre de 2024) se evaluó la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio a partir de los registros diarios de turbidez cruda y filtrada. A nivel mensual, la eficiencia promedio fue de 65,63 % en junio, 66,52 % en julio, 68,30 % en agosto y 90,68 % en septiembre, alcanzando un promedio estacional de 72,78 % de remoción de turbidez, tal como se evidencia en la Tabla 3 y la Figura 9.

Tabla 3

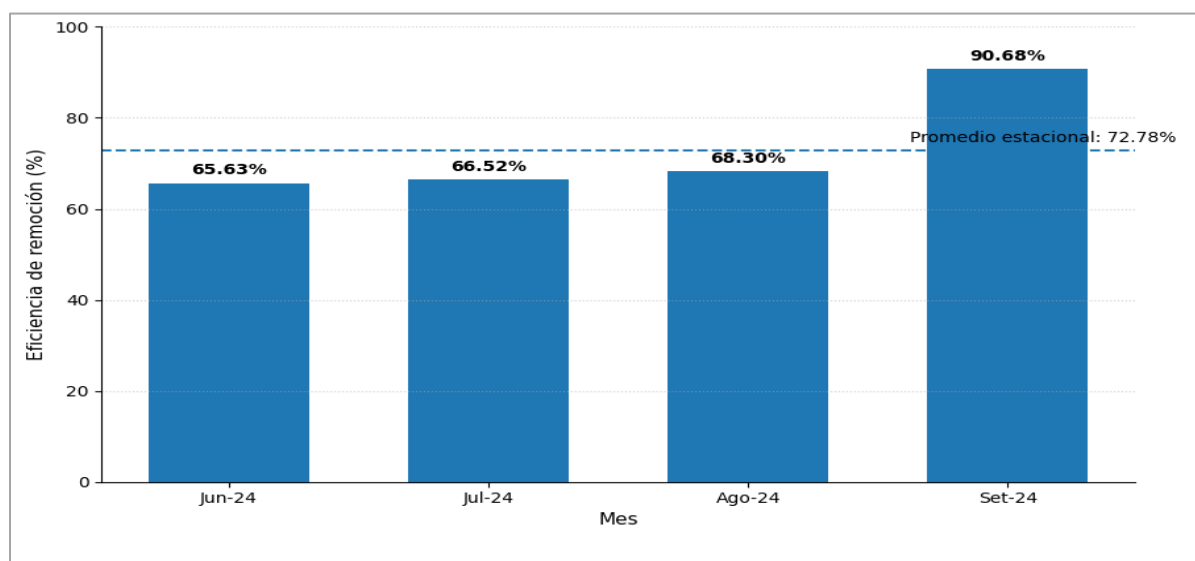
Eficiencia de remoción de turbidez en estación seca

Mes	n	Media (%)	DE	Mínimo (%)	Máximo (%)	IC 95 %
Jun 2024	30	65,63	7,91	52,20	83,72	62,68 a 68,59
Jul 2024	31	66,52	9,03	49,09	81,87	63,21 a 69,83
Ago 2024	31	68,30	3,71	59,65	77,11	66,94 a 69,66
Set 2024	30	90,68	7,90	74,73	99,27	87,74 a 93,63
Promedio estacional	122	72,70	12,69	49,09	99,27	70,42 a 74,97

Nota: n = número de registros diarios; DE = desviación estándar; IC 95 % = intervalo de confianza al 95%.

Figura 9

Porcentaje de remoción de turbidez según la estación seca



Respecto a la calidad del agua tratada, la turbidez filtrada durante la estación seca presentó valores promedio mensuales de 1.65 UNT en junio, 1.54 UNT en julio, 1.45 UNT en agosto y 0.79 UNT en septiembre, con un promedio estacional aproximado de 1.36 UNT. En todos los meses evaluados la turbidez filtrada se mantuvo por debajo del límite de 5 UNT establecido en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, lo que indica que la PTAP Huancayoccc cumplió de manera continua con el valor máximo admisible de turbidez para agua potable durante la estación seca.

Finalmente, la relación entre la turbidez del agua cruda y la turbidez filtrada en la estación seca mostró una correlación negativa débil ($r = -0,144$), lo que indica que, a mayor turbidez inicial, la planta tiende a lograr una ligera mejora en la remoción, aunque el efecto es reducido. Este comportamiento sugiere que la operación del proceso de coagulación-floculación en época seca podría fortalecerse, especialmente en escenarios de baja turbidez inicial.

Al analizar conjuntamente la turbidez cruda y la turbidez filtrada en la estación seca se observa que, en septiembre, cuando la turbidez del agua cruda alcanzó el valor más alto del periodo con 13.42 UNT, se obtuvo también la mayor eficiencia de remoción con 90.68 % y la menor turbidez filtrada con 0.79 UNT. En los meses con turbidez cruda más baja, comprendida entre 4.59 y 4.98 UNT, las eficiencias de remoción fueron menores y se situaron entre 65.63 y 68.30 %, con turbideces filtradas entre 1.45 y 1.65 UNT. Esta tendencia sugiere que, en condiciones de mayor turbidez inicial, el proceso de coagulación y filtración de la planta aprovecha mejor la formación de flóculos y logra reducciones más altas de turbidez en el agua tratada.

4.1.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez durante la estación húmeda en la PTAP Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025

Durante la estación húmeda, comprendida entre octubre de 2024 y febrero de 2025, la turbidez del agua cruda que ingresó a la PTAP Huancayocc presentó valores promedio mensuales entre 5.86 y 20.27 UNT. En octubre se registró una turbidez cruda de 8.92 UNT, en noviembre el valor máximo del periodo con 20.27 UNT, en diciembre 6.82 UNT, en enero 5.86 UNT y en febrero 6.17 UNT. Frente a estas condiciones, la turbidez filtrada se mantuvo en un rango estrecho entre 1.10 y 1.41 UNT, con valores de 1.37 UNT en octubre, 1.41 UNT en noviembre y diciembre, 1.25 UNT en enero y 1.10 UNT en febrero, lo que refleja una operación estable del sistema de tratamiento aun cuando la calidad del agua cruda fue más exigente.

Tabla 4

Eficiencia de remoción de turbidez en estación húmeda

Mes	n	Media (%)	DE	Mínimo (%)	Máximo (%)	IC 95 %
Oct 2024	31	83,00	5,42	73,37	95,47	81,01 a 84,98
Nov 2024	30	81,13	11,69	61,46	99,12	76,76 a 85,49
Dic 2024	31	74,22	9,42	59,73	92,86	70,77 a 77,68
Ene 2025	31	70,05	12,66	56,01	93,51	65,40 a 74,69
Feb 2025	28	75,85	11,53	55,27	95,08	71,38 a 80,32
Promedio estacional	151	76,84	11,34	55,27	99,12	75,02 a 78,66

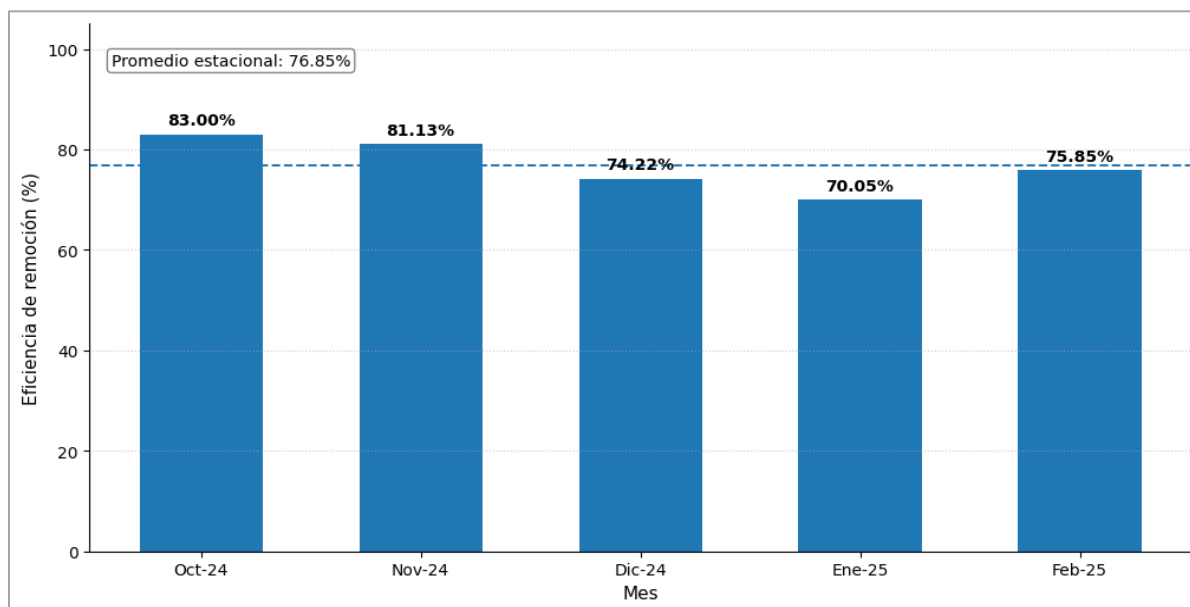
Nota. Z| n = número de registros diarios; DE = desviación estándar; IC 95 % = intervalo de confianza al 95 %.

En cuanto a la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio, según la figura 10, se observaron valores mensuales de 83% en octubre, 81.13% en noviembre, 74.22% en diciembre, 70.05% en enero y 75.85% en febrero. El promedio estacional de eficiencia alcanzó 76.85%, superior al promedio de 72.78% obtenido en la estación seca, con una diferencia cercana a 4 puntos porcentuales. Este resultado indica que, en la estación húmeda, la planta

logra en conjunto una remoción de turbidez más elevada, a pesar de trabajar con aguas de mayor turbidez inicial.

Figura 10

Porcentaje de remoción de turbidez según la estación húmeda



Al analizar de manera conjunta la turbidez cruda, la turbidez filtrada y la eficiencia de remoción se aprecia que los meses con turbidez inicial más alta, como noviembre con 20.27 UNT, mantienen turbideces filtradas en torno a 1.41 UNT y eficiencias superiores al 81%. En los meses con turbidez cruda moderada, comprendida entre 5.86 y 8.92 UNT, las eficiencias se sitúan entre 70.05 y 83.00%, y la turbidez filtrada se conserva entre 1.10 y 1.37 UNT. Esta tendencia sugiere que el proceso de coagulación y filtración responde de manera adecuada frente a incrementos en la turbidez del agua cruda y que, durante la estación de lluvias, el ajuste operativo de la dosificación de sulfato de aluminio permite mantener la turbidez del agua tratada por debajo del valor máximo admisible de 5 UNT en todos los meses evaluados.

4.1.4. Comparación de la eficiencia de remoción de turbidez entre ambas estaciones en la PTAP Huancayooc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025

En términos de calidad del agua filtrada, la turbidez promedio también mostró diferencias significativas: 1,36 UNT en la estación seca frente a 1,31 UNT en la estación húmeda ($p = 0,0127$). Aunque la diferencia absoluta es pequeña (0,05 UNT), su significancia estadística indica que el sistema logra una salida ligeramente más clara en época de lluvias, probablemente asociada a un ajuste operativo más cuidadoso ante las mayores exigencias del agua cruda.

Los indicadores de cumplimiento también reflejan esta diferencia estacional:

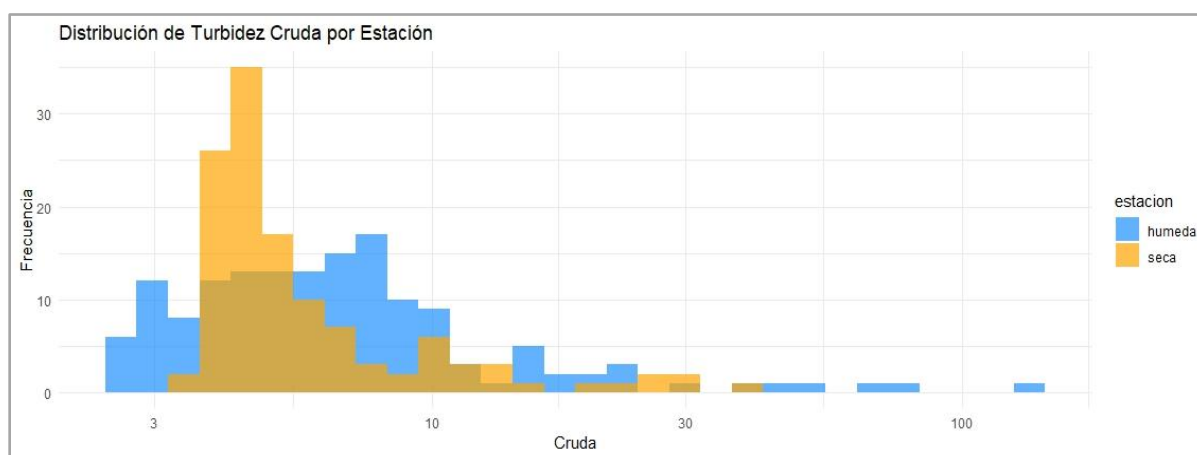
- Meta de eficiencia ≥ 80 %:
 - Estación seca: 23 % de los días monitoreados.
 - Estación húmeda: 41,1 % de los días.
- Meta de turbidez filtrada ≤ 1 UNT:
 - Estación seca: 9,9 % de los días.
 - Estación húmeda: 18,9 % de los días.

En ambos casos, la conformidad con el límite normativo de ≤ 5 UNT fue del 100 % en las dos estaciones, lo que evidencia que la PTAP Huancayooc garantiza agua dentro de los estándares legales durante todo el periodo analizado. Sin embargo, los resultados muestran que la estación húmeda, pese a los mayores niveles de turbidez cruda, ofrece mejores oportunidades para alcanzar eficiencias altas cuando la operación se ajusta en función de las condiciones climáticas.

En la Figura 11 se presenta la distribución de la turbidez cruda registrada en la PTAP Huancayocc diferenciando la estación seca y la estación húmeda. En la estación seca la mayor concentración de observaciones se ubica en un rango estrecho, aproximadamente entre 3 y 7 UNT, con muy pocos casos que superan los 10 UNT. Esto muestra que, en meses secos, la calidad del agua cruda es relativamente homogénea y se mantiene en niveles de turbidez bajos a moderados.

Figura 11

Distribución de turbidez cruda según estación (seca / húmeda)

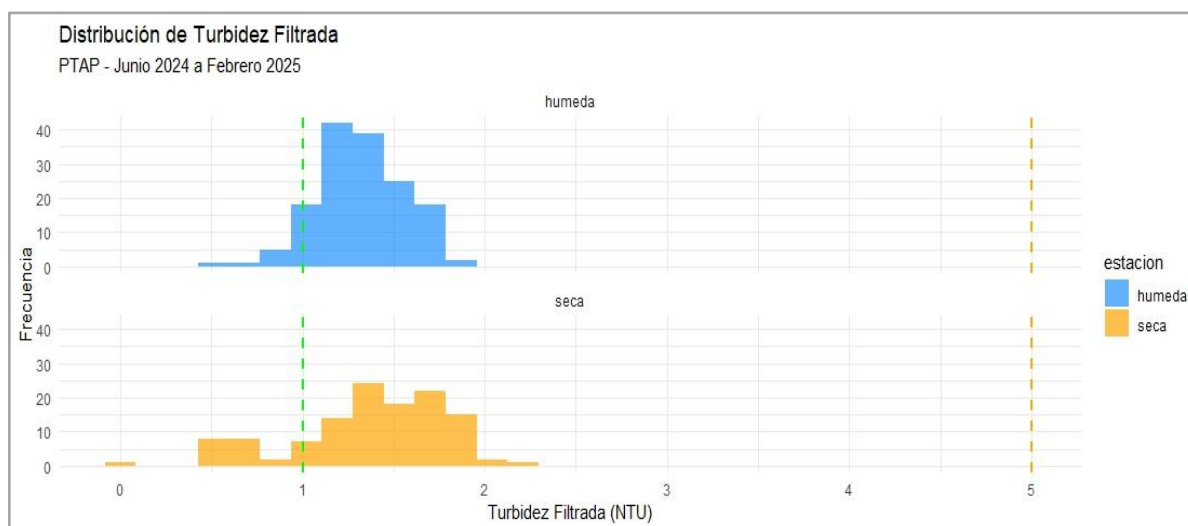


En la estación húmeda la distribución se desplaza hacia valores más altos y presenta una dispersión mayor. Se observan frecuencias importantes de turbidez entre 5 y 12 UNT, así como la presencia de registros con valores superiores a 20 UNT e incluso eventos aislados que sobrepasan los 50 UNT. Esta mayor amplitud de la distribución confirma que, durante la temporada de lluvias, la fuente superficial recibe un aporte más intenso de sedimentos y material en suspensión, lo que incrementa la variabilidad de la turbidez cruda y exige un ajuste más cuidadoso de la operación de coagulación y filtración para mantener la eficiencia de remoción y el cumplimiento de la normativa de calidad del agua.

En la Figura 12 se observa la distribución de la turbidez filtrada en la PTAP Huancayococ para la estación húmeda y la estación seca, en el periodo de junio de 2024 a febrero de 2025. En ambos casos los valores se concentran principalmente entre aproximadamente 1,0 y 1,8 UNT, sin registrarse valores cercanos al límite máximo de 5 UNT señalado con la línea punteada amarilla. En la estación húmeda el histograma se agrupa alrededor de valores ligeramente inferiores a los de la estación seca, con una mayor densidad próxima a 1,2 y 1,4 UNT, mientras que en la estación seca la distribución se desplaza apenas hacia la derecha con mayor presencia de valores entre 1,3 y 1,7 UNT.

Figura 12

Distribución de la turbidez (filtrada) según estación



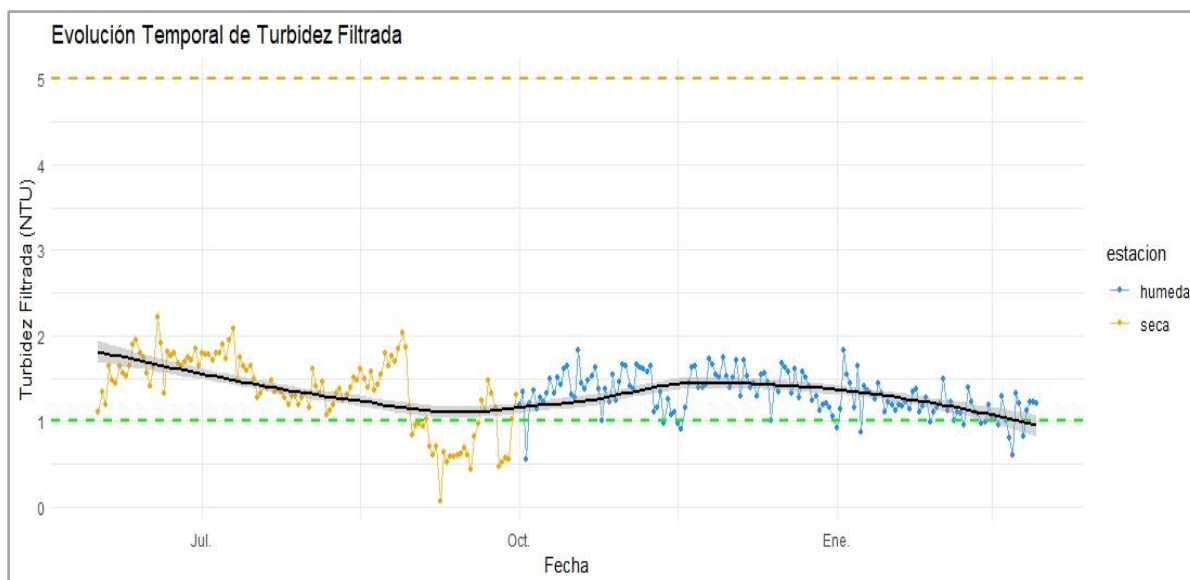
La línea punteada verde ubicada en 1 UNT representa el valor de turbidez recomendado como meta óptima para maximizar la eficacia de la desinfección. El gráfico muestra que, si bien existe un conjunto de observaciones por debajo de ese umbral en ambas estaciones, la mayoría de los registros se mantiene ligeramente por encima de 1 UNT aunque siempre muy por debajo de 5 UNT. Esto confirma que la planta cumple de manera sostenida con el estándar normativo de turbidez para agua potable y que, durante la estación húmeda, logra situar con

mayor frecuencia la turbidez filtrada en el entorno del valor óptimo, lo que es congruente con las mayores eficiencias de remoción estimadas para este periodo y evidencia un ajuste operativo más cuidadoso frente a las variaciones de la calidad del agua cruda.

En la Figura 13 se aprecia la evolución diaria de la turbidez filtrada entre junio de 2024 y febrero de 2025, diferenciando la estación seca y la estación húmeda. Durante la estación seca, representada en color amarillo, los valores iniciales se sitúan mayormente entre 1,5 y 2,0 UNT y muestran una tendencia descendente a lo largo de los meses, con un acercamiento progresivo a la línea verde de 1 UNT y algunos días con turbidez por debajo de ese valor hacia finales de septiembre. En ningún momento los registros se aproximan al límite máximo de 5 UNT señalado con la línea punteada superior, lo que indica un control adecuado del proceso de filtración en todo el periodo.

Figura 13

Evolución temporal de la turbidez (filtrada)



En la estación húmeda, representada en color azul, la turbidez filtrada se mantiene en un rango relativamente estrecho, con la mayoría de los valores entre aproximadamente 1,0 y 1,7 UNT. La curva de tendencia muestra un comportamiento estable con ligeras fluctuaciones,

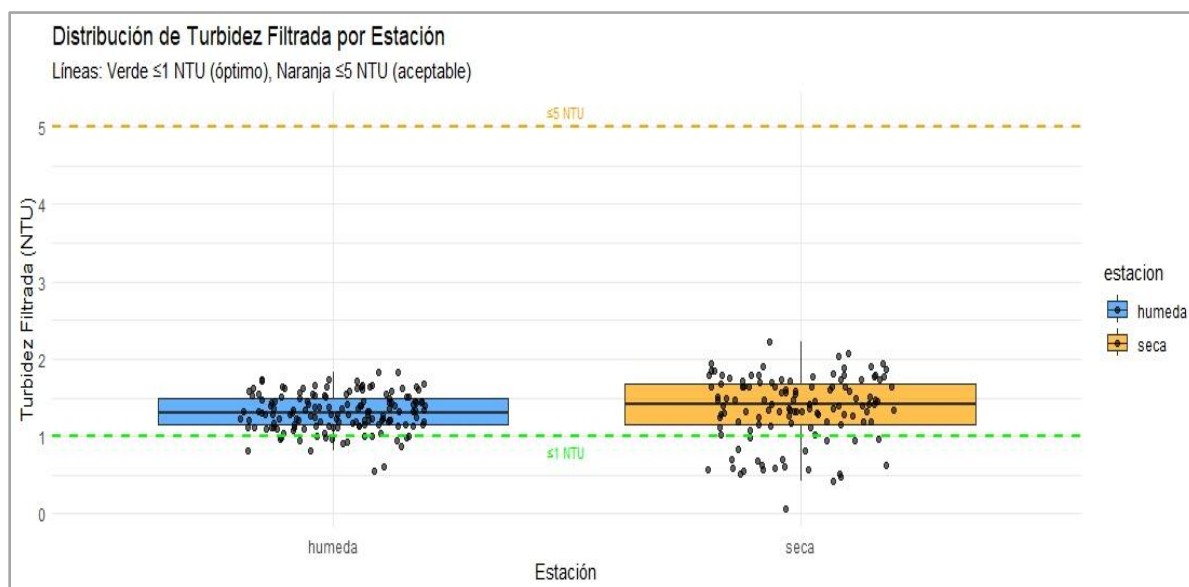
primero con un leve incremento al inicio de la temporada de lluvias y luego con una disminución gradual que vuelve a acercar los valores al entorno de 1 UNT hacia enero y febrero.

Desde el punto de vista operativo, esta evolución temporal sugiere que la planta mantiene un nivel de turbidez filtrada consistentemente bajo en ambas estaciones y que, frente al inicio de la estación de lluvias, se realizan ajustes que permiten conservar la calidad del agua tratada dentro de márgenes seguros. El acercamiento recurrente a la línea de 1 UNT, sobre todo hacia el final de la estación seca y en varios tramos de la estación húmeda, refleja un esfuerzo por operar no solo cumpliendo el valor máximo admisible de 5 UNT, sino también buscando aproximarse a un nivel de turbidez más exigente que favorece la eficacia del proceso de desinfección.

En la Figura 14 se compara la distribución de la turbidez filtrada entre la estación húmeda y la estación seca mediante diagramas de caja. En ambos casos los valores se concentran en un rango estrecho cercano a 1,0 y 1,8 UNT, sin observarse datos próximos al límite máximo de 5 UNT indicado por la línea punteada superior de color naranja. La caja correspondiente a la estación húmeda se ubica ligeramente por debajo de la caja de la estación seca, lo que indica valores centrales algo menores de turbidez filtrada en época de lluvias. Además, la dispersión de los datos en la estación húmeda es moderada y la mayoría de los puntos se agrupa alrededor de la mediana, mientras que en la estación seca se aprecia una leve mayor amplitud con algunos valores puntuales hacia 2 UNT.

Figura 14

Distribución de turbidez filtrada según estación (seca / húmeda)



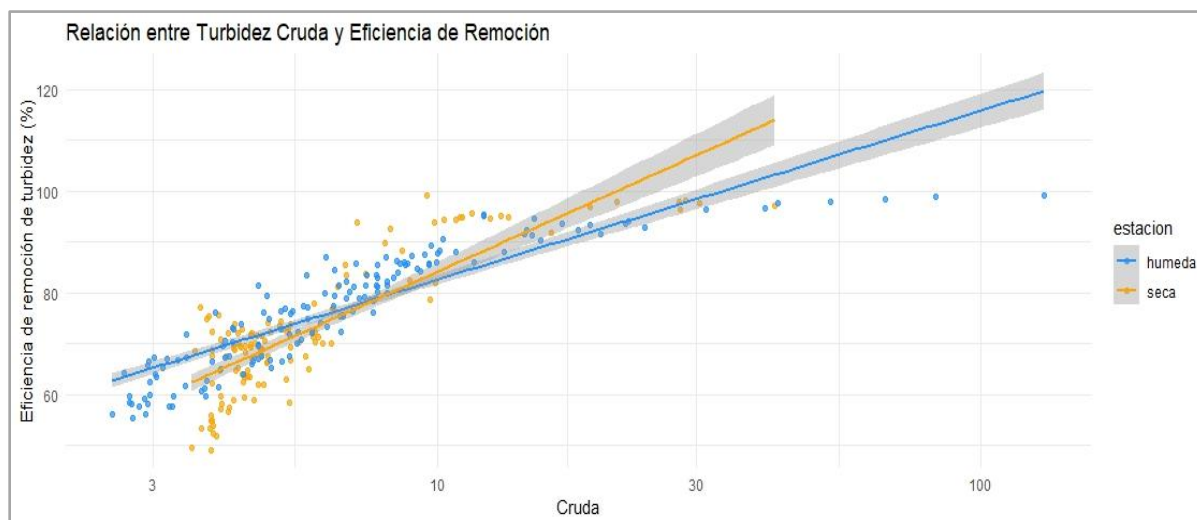
La línea verde situada en 1 UNT representa el valor considerado óptimo para reforzar la eficacia de la desinfección. El gráfico muestra que una parte de las observaciones de ambas estaciones se encuentra por debajo de esa referencia, aunque la mayor proporción de datos se sitúa ligeramente por encima de 1 UNT y muy por debajo del límite aceptable de 5 UNT. Esta configuración confirma que la PTAP Huancayooc mantiene de manera consistente una turbidez filtrada dentro de rangos seguros en las dos estaciones y respalda los resultados numéricos que señalan un promedio algo menor en la estación húmeda. En conjunto, la figura sugiere que el ajuste operativo realizado durante la temporada de lluvias permite controlar la turbidez filtrada con una ligera ventaja respecto a la estación seca, aun cuando la turbidez del agua cruda es más elevada en ese periodo.

En la Figura 15 se muestra la relación entre la turbidez cruda del agua que ingresa a la PTAP Huancayooc y la eficiencia de remoción de turbidez alcanzada en cada estación. En ambos casos se observa una tendencia ascendente: a medida que aumenta la turbidez cruda, la eficiencia de remoción se incrementa de manera progresiva. Para valores bajos de turbidez inicial, cercanos a 3–5 UNT, las eficiencias se concentran principalmente entre 60 y 80%,

mientras que para turbideces intermedias, alrededor de 10–20 UNT, la mayoría de los registros se sitúa por encima de 80%.

Figura 15

Relación entre turbidez (cruda) y eficiencia de remoción en la PTAP



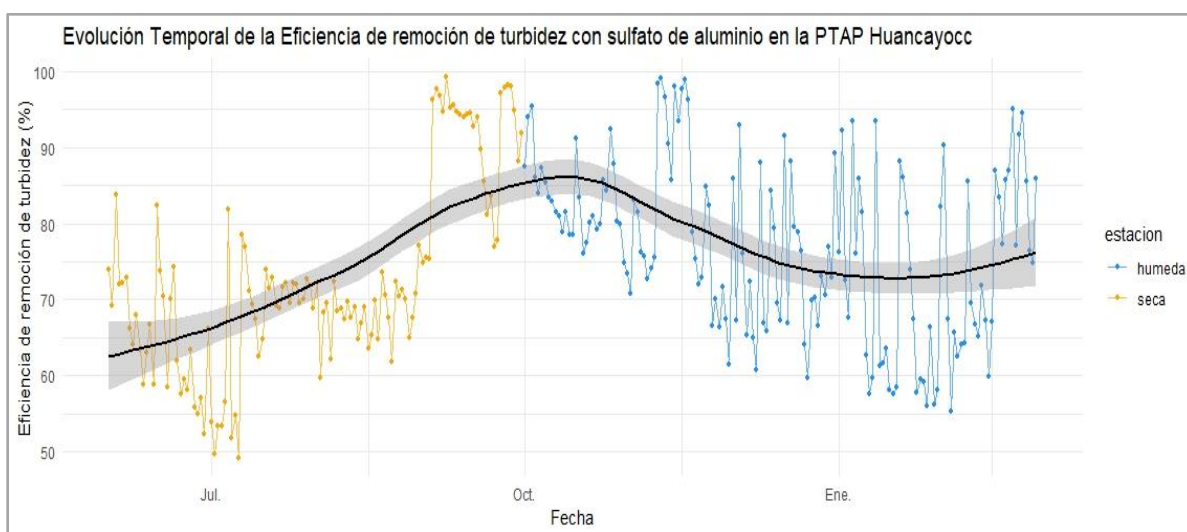
Las rectas de regresión permiten apreciar que esta relación positiva se presenta tanto en la estación seca como en la estación húmeda, con pendientes similares y un comportamiento ligeramente más marcado en la estación seca para los valores más altos de turbidez. Esto indica que, en condiciones de mayor carga de sólidos, el proceso de coagulación y floculación dispone de más partículas para formar flóculos estables, lo que favorece la sedimentación y la filtración y conduce a eficiencias más altas. En conjunto, el gráfico respalda la interpretación de que el sistema de tratamiento responde mejor cuando la turbidez del agua cruda es moderada o elevada, siempre que se ajusten adecuadamente la dosificación de sulfato de aluminio y las condiciones operativas de la planta.

En la Figura 16 se muestra la variación diaria de la eficiencia de remoción de turbidez en la PTAP Huancayoc desde junio de 2024 hasta febrero de 2025, diferenciando la estación seca y la estación húmeda. Durante la estación seca, representada en color amarillo, se observa una eficiencia inicial cercana a valores de 60 a 70%, con oscilaciones marcadas entre días

consecutivos. La curva de tendencia evidencia un incremento progresivo a lo largo de los meses, de modo que hacia finales de septiembre la eficiencia se aproxima a niveles cercanos a 80 e incluso por encima de ese valor en varios registros, lo que coincide con las mayores eficiencias mensuales estimadas para ese periodo.

Figura 16

Evolución temporal de la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio



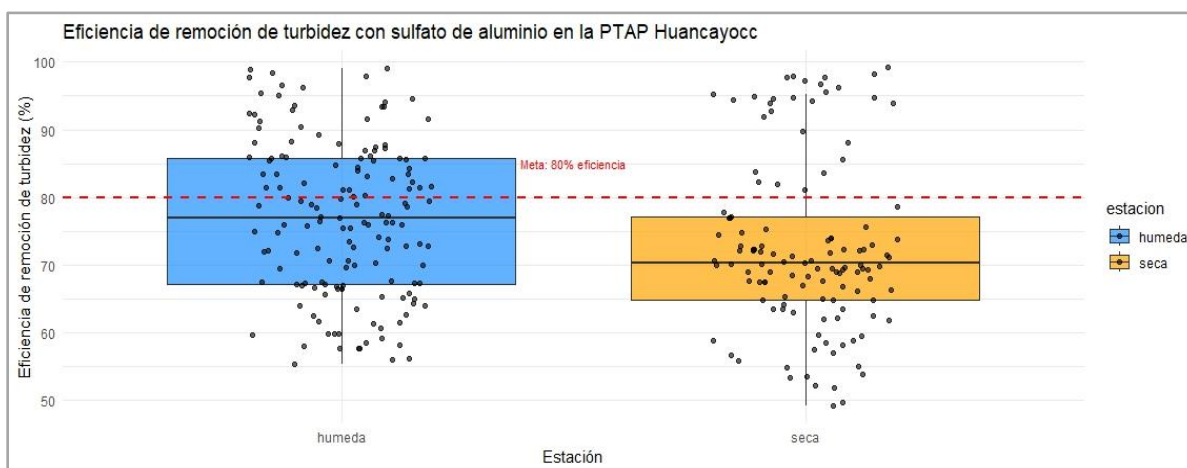
En la estación húmeda, representada en color azul, la eficiencia muestra una variabilidad diaria más pronunciada, con registros que se sitúan habitualmente entre 65 y 95%. La curva suavizada indica un descenso moderado de la eficiencia al inicio de la temporada de lluvias, seguido de una fase de estabilización alrededor de 75 a 80% y una ligera recuperación hacia el final del periodo analizado. Este comportamiento sugiere que la planta enfrenta ajustes continuos frente a las variaciones de la turbidez cruda durante la estación de lluvias, pero logra mantener la eficiencia en un rango compatible con las metas operativas planteadas. En conjunto, la figura confirma la presencia de una dinámica estacional en el desempeño del tratamiento, con una mejora gradual en la estación seca y una respuesta adaptativa en la estación húmeda que permite sostener eficiencias altas aún bajo condiciones de mayor exigencia en la calidad del agua de entrada.

En la Figura 17 se compara la distribución de la eficiencia de remoción de turbidez entre la estación húmeda y la estación seca mediante diagramas de caja. En ambos casos los valores se concentran principalmente entre 60 y 90%, pero la caja correspondiente a la estación húmeda se sitúa visualmente por encima de la caja de la estación seca. Esto indica que tanto la mediana como la mayor parte de los valores centrales de eficiencia son más altos en época de lluvias. Además, en la estación húmeda se observan varios puntos individuales por encima de 90%, mientras que en la estación seca los valores se agrupan con mayor frecuencia en torno a 65 - 75%.

La línea punteada roja marca la meta operativa de 80% de eficiencia. El gráfico muestra que, durante la estación húmeda, una proporción importante de los registros se ubica en torno o por encima de esa referencia, mientras que en la estación seca buena parte de la distribución queda por debajo de la línea. Esta configuración confirma que la PTAP Huancayoc alcanza con mayor facilidad eficiencias altas cuando opera en condiciones de turbidez más elevada propias de la temporada de lluvias, lo que es coherente con los promedios estacionales calculados para cada estación y respalda la necesidad de considerar criterios de operación diferenciados según la época del año.

Figura 17

Eficiencia de remoción de turbidez (filtrada) con sulfato de aluminio



4.2. Contrastación de hipótesis

Antes de contrastar las hipótesis, se verificó el supuesto de normalidad de los datos correspondientes a la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio y a la turbidez filtrada. Debido a que se trabajó con más de 50 registros por grupo, se aplicó la prueba de Kolmogorov Smirnov con corrección de Lilliefors, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$

Tabla 5

Prueba de normalidad de los datos según estación

Variable	Estación	n	Prueba	Estadístico	p	Decisión
Eficiencia de remoción (%)	Seca	122	Kolmogorov Smirnov	0,158	0,001	No normal
Eficiencia de remoción (%)	Húmeda	151	Kolmogorov Smirnov	0,084	0,019	No normal
Turbidez filtrada (UNT)	Seca	122	Kolmogorov Smirnov	0,105	0,004	No normal
Turbidez filtrada (UNT)	Húmeda	151	Kolmogorov Smirnov	0,049	0,571	Normal

Nota. Se empleó la corrección de Lilliefors. Cuando al menos uno de los grupos no presentó distribución normal, se optó por una prueba no paramétrica para la comparación entre estaciones.

Los resultados de normalidad evidenciaron que la eficiencia de remoción de turbidez no presentó distribución normal en la estación seca ni en la estación húmeda, debido a que los valores de significancia fueron menores a 0,05. De igual manera, la turbidez filtrada no cumplió completamente el supuesto de normalidad, ya que en la estación seca se obtuvo $p < 0,05$. Por ello, para comparar los resultados entre estaciones se utilizó la prueba U de Mann Whitney. Asimismo, para evaluar si la eficiencia de la estación seca alcanzaba un nivel alto respecto al umbral operativo de 80 %, se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

Tabla 6*Contrastación estadística entre estación seca y estación húmeda*

Variable contrastada	Prueba estadística	Estadístico	gl	n seca	n húmeda	p	Conclusión
Eficiencia de remoción de turbidez (%)	U de Mann Whitney	U = No aplica 7239,00		122	151	0,0024	Existe diferencia significativa entre estaciones
Turbidez filtrada (UNT)	U de Mann Whitney	U = No aplica 10828,50		122	151	0,0127	Existe diferencia significativa entre estaciones

Nota. gl = grados de libertad. En la prueba U de Mann Whitney no se reportan grados de libertad, por tratarse de una prueba no paramétrica.

El análisis correlacional entre la turbidez del agua cruda y la turbidez filtrada evidenció una relación inversa en ambas estaciones de estudio. En la estación seca se obtuvo un coeficiente de correlación de $r = -0,144$, considerado débil, mientras que en la estación húmeda la correlación alcanzó $r = -0,482$, de mayor magnitud. Estos resultados indican que, conforme aumenta la turbidez del agua cruda, la turbidez del agua filtrada tiende a disminuir ligeramente, efecto que se hace más notorio durante la temporada de lluvias.

La hipótesis específica 1 planteó que la eficiencia de remoción de turbidez en la estación seca era significativamente alta. Sin embargo, la eficiencia media obtenida en esta estación fue de 72,70 %, valor inferior al umbral operativo de 80 %. La prueba de Wilcoxon confirmó esta diferencia con $W = 1788,00$ y $p < 0,001$, por lo que se rechaza la hipótesis específica 1. Este resultado indica que, aunque la PTAP Huancayooc cumplió con el límite normativo de turbidez filtrada, la eficiencia de remoción durante la estación seca no alcanzó un desempeño alto de manera sostenida.

La hipótesis específica 2 sostuvo que la eficiencia de remoción de turbidez disminuye durante la estación húmeda. No obstante, los resultados mostraron una eficiencia media de

76,84 % en la estación húmeda, superior a la media registrada en la estación seca, que fue de 72,70 %. La prueba U de Mann Whitney evidenció una diferencia significativa entre ambas estaciones, con $U = 7239,00$ y $p = 0,0024$. En consecuencia, se rechaza la hipótesis específica 2, debido a que la eficiencia no disminuyó durante la estación húmeda, sino que presentó un mejor desempeño comparativo.

La hipótesis específica 3 planteó que existen diferencias significativas entre la eficiencia de remoción de turbidez en la estación seca y la estación húmeda. La prueba U de Mann Whitney confirmó esta diferencia con $U = 7239,00$ y $p = 0,0024$, por lo que se acepta la hipótesis específica 3. Este resultado demuestra que la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio varía de manera significativa entre ambas estaciones.

De manera complementaria, se contrastó la turbidez filtrada entre estaciones, obteniéndose una diferencia significativa con $U = 10828,50$ y $p = 0,0127$. Este hallazgo refuerza la evidencia de que la estacionalidad influye en el comportamiento operativo del tratamiento, no solo en términos de eficiencia de remoción, sino también en la calidad final del agua filtrada.

En síntesis, se acepta la hipótesis general de la investigación, debido a que la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio varió significativamente entre la estación seca y la estación húmeda en la PTAP Huancayo, durante el periodo 2024 a 2025. El mejor desempeño se observó durante la estación húmeda, lo cual evidencia la necesidad de mantener criterios de operación diferenciados según la variabilidad estacional de la calidad del agua cruda.

a) **Validación de las hipótesis específicas**

Hipótesis específica 1: La eficiencia de remoción de turbidez en la estación seca es significativamente alta en la PTAP Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.

Los resultados obtenidos para la estación seca evidenciaron eficiencias mensuales de remoción de turbidez de 65,63 % en junio, 66,52 % en julio, 68,30 % en agosto y 90,68 % en setiembre, alcanzándose una eficiencia promedio estacional de 72,78 %. Aunque estos valores permitieron mantener una turbidez filtrada promedio de 1,36 UNT y asegurar el cumplimiento del límite normativo de ≤ 5 UNT durante todo el periodo evaluado, el desempeño observado no se mantuvo en un nivel alto de forma sostenida, debido a que en tres de los cuatro meses analizados la eficiencia fue inferior al umbral operativo de 80 % establecido como referencia de desempeño.

En términos interpretativos, los resultados muestran que el proceso de remoción de turbidez durante la estación seca fue operativamente aceptable desde el punto de vista normativo, pero insuficiente para sostener un nivel de eficiencia significativamente alto en relación con la meta operativa planteada. El alto valor registrado en setiembre constituye un comportamiento favorable puntual, pero no representa la tendencia general del periodo seco. En consecuencia, se rechaza la hipótesis, al no haberse demostrado que la eficiencia de remoción de turbidez en la estación seca haya sido significativamente alta durante el periodo 2024 a 2025.

Hipótesis específica 2: La eficiencia de remoción de turbidez en la PTAP Huancayocc - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025, disminuye en la estación húmeda.

El análisis de los resultados correspondientes a la estación húmeda evidenció eficiencias mensuales de remoción de turbidez de 83,00 % en octubre, 81,13 % en noviembre, 74,22 % en diciembre, 70,05 % en enero y 75,85 % en febrero, obteniéndose una media estacional de 76,85 %. Este valor resultó superior a la media observada en la estación seca, que fue de 72,78 %, lo que descarta una disminución del desempeño del proceso durante el periodo húmedo. De manera complementaria, el análisis descriptivo de la distribución de los datos mostró una tendencia central más alta en la estación húmeda, con mayor concentración de observaciones en niveles cercanos o superiores al umbral operativo de 80 %, lo que refuerza la evidencia de un comportamiento comparativamente más favorable en dicho periodo. En términos estadísticos, los resultados no respaldan la dirección planteada en la hipótesis, dado que la eficiencia media en la estación húmeda no fue inferior, sino superior a la registrada en la estación seca. En consecuencia, la hipótesis se rechaza.

Hipótesis específica 3: Existen diferencias significativas entre la eficiencia de remoción de turbidez en ambas estaciones en la PTAP Huancayo - Huanta, durante el periodo 2024 - 2025.

Los resultados evidenciaron que la eficiencia promedio de remoción de turbidez fue de 72,78 % en la estación seca y de 76,85 % en la estación húmeda, lo que representa una diferencia de 4,07 puntos porcentuales a favor de la estación húmeda. Esta diferencia también se aprecia en la representación gráfica de la distribución de los datos, donde la mediana y el rango intercuartílico de la estación húmeda se ubican por encima de los correspondientes a la estación seca, lo que indica un comportamiento comparativamente más eficiente del proceso durante dicho periodo.

Asimismo, el análisis estadístico confirmó que la diferencia observada entre ambas estaciones es estadísticamente significativa ($p < 0,05$), por lo que se rechaza la hipótesis nula

y se acepta la hipótesis planteada. En consecuencia, se establece que la estacionalidad influye significativamente en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayooc, evidenciándose un mejor desempeño del tratamiento durante la estación húmeda.

4.3. Discusión de resultados

La caracterización climática y los registros de la PTAP Huancayooc confirman que la estación húmeda presenta mayor variabilidad y niveles superiores de turbidez cruda en comparación con la estación seca, con eventos que superan con amplitud los valores típicos de 3 a 7 UNT observados en época seca. Este comportamiento coincide con lo descrito para cuencas altoandinas, donde las lluvias incrementan la escorrentía y el arrastre de sedimentos, elevando la turbidez del agua superficial y la carga de sólidos suspendidos que ingresa a las plantas de tratamiento (Ramos & Delgado, 2023; Torres-Sánchez et al., 2023).

Bajo estas condiciones, la PTAP Huancayooc enfrenta un escenario operativo claramente estacional: en meses secos, el sistema trabaja con aguas de turbidez moderada, mientras que en meses lluviosos debe responder a incrementos bruscos de turbidez cruda asociados a lluvias intensas y procesos de erosión de laderas.

En la estación seca, la eficiencia promedio de remoción de turbidez fue de 72,7 %, con solo 23 % de los días superando el umbral de 80%. Aunque estos porcentajes permiten mantener la turbidez filtrada en 1,36 UNT en promedio y asegurar un cumplimiento del 100 % del límite normativo de ≤ 5 UNT, los resultados muestran que la planta aún está lejos de operar de manera sistemática en rangos óptimos de remoción (≥ 80 % en la mayoría de los días).

Al comparar estos valores con investigaciones nacionales, se observa que en otras plantas rurales se han alcanzado eficiencias promedio de entre 85 % y 90 % cuando se aplican jar tests regulares y se ajusta la dosis de sulfato de aluminio en función de la turbidez inicial

(Alvarado & Córdova, 2020; Vilca & Ramos, 2021; Zambrano & Gutiérrez, 2021). Esto sugiere que los 72,7 % de Huancayooc representan un desempeño aceptable pero perfectible, especialmente si se considera que solo 9,9 % de los días cumplen con el estándar óptimo de turbidez filtrada ≤ 1 recomendado para maximizar la eficacia de la desinfección (WHO, 2021).

La correlación negativa débil entre turbidez cruda y filtrada en la estación seca ($r = -0,144$) indica que el aumento de turbidez inicial tiene un efecto favorable pero limitado sobre la eficiencia del tratamiento. Esta debilidad en la relación sugiere que la operación en época seca podría estar influida por otros factores, como la dosificación fija de coagulante, ajustes poco frecuentes o la ausencia de protocolos específicos para aguas con baja turbidez inicial, situación descrita también por el INS (2018) para múltiples sistemas rurales peruanos.

En contraste, durante la estación húmeda la eficiencia promedio de remoción de turbidez se incrementó a 76,8 %, y la proporción de días que superaron el 80 % de eficiencia aumentó a 41,1 %. Pese a trabajar con aguas de mayor turbidez, la planta logró mantener una turbidez filtrada promedio de 1,31 UNT, siempre por debajo del límite normativo de 5 UNT y con un mejor cumplimiento del estándar óptimo de ≤ 1 UNT (18,9 % de los días).

Este comportamiento coincide con estudios que reportan que, en aguas con turbidez inicial moderada o alta, el sulfato de aluminio puede alcanzar eficiencias de 80–90 % cuando se ajusta la dosis y se controla el pH de coagulación (Chávez-Mejía, Soto-Muñoz & Rodríguez-Gómez, 2022; Singh et al., 2020). La correlación negativa más marcada en la estación húmeda ($r = -0,482$) confirma que a medida que aumenta la turbidez inicial, la planta responde con una remoción más efectiva, lo que se explica por la mayor disponibilidad de partículas coloidales para la formación de flóculos y sedimentación.

Estos resultados sugieren que, ante la mayor presión operativa de la temporada de lluvias, el personal de la PTAP Huancayooc realiza ajustes más finos en la dosificación de coagulante y en el manejo del sistema, lo que repercute en un desempeño globalmente óptimo que en la estación seca. A su vez, esto coincide con la recomendación de la SUNASS (2022) y del MINAM (2023) de incorporar esquemas de gestión adaptativa frente a la variabilidad climática para asegurar la calidad del agua potable en sistemas rurales.

La comparación estadística demostró diferencias significativas entre estaciones tanto en la eficiencia promedio de remoción de turbidez (72,7 % en seca vs. 76,8 % en húmeda; $p = 0,0024$) como en la turbidez filtrada promedio (1,36 UNT en seca vs. 1,31 UNT en húmeda; $p = 0,0127$). Estas diferencias, aunque cuantitativamente moderadas, tienen relevancia práctica, ya que se traducen en mayor frecuencia de días con eficiencia ≥ 80 % y en un mejor acercamiento a la meta de turbidez filtrada ≤ 1 UNT durante la estación húmeda.

En consecuencia, la hipótesis general de la investigación, que plantea que la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio varía significativamente entre la estación seca y la estación húmeda, se acepta. La variación no solo es estadística, sino también operativa: la planta funciona con un perfil más estable pero menos eficiente en época seca, y con un perfil más exigente pero mejor aprovechado en época húmeda. Este comportamiento es coherente con el contexto de plantas rurales altoandinas y refuerza la necesidad de protocolos estacionales diferenciados de operación (INS, 2018; MINAM, 2023).

A pesar de mantener un 100 % de cumplimiento del límite legal de ≤ 5 UNT en ambas estaciones, la baja proporción de días con turbidez ≤ 1 UNT, especialmente en época seca, indica que aún existe margen para mejorar la protección sanitaria, dado que turbideces superiores a 1 UNT pueden reducir la eficacia de la desinfección y proteger a microorganismos patógenos (WHO, 2021).

Desde una perspectiva de gestión, los resultados sugieren que la PTAP Huancayo debería consolidar un esquema de operación estacional, con énfasis en:

- ajustar la dosis de sulfato de aluminio según la turbidez cruda diaria;
- aplicar jar tests de manera rutinaria en ambas estaciones;
- fortalecer el registro y análisis interno de indicadores como eficiencia de remoción, cumplimiento de metas de turbidez ≤ 1 UNT.

V. CONCLUSIONES

Durante la estación seca, la PTAP Huancayoc presentó una eficiencia promedio de remoción de turbidez de 72,78 %, valor que permitió cumplir de manera sostenida el límite normativo de turbidez filtrada ≤ 5 UNT, pero no alcanzar de forma consistente un desempeño operativo alto, debido a que solo 23 % de los días evaluados superaron la meta de ≥ 80 % de remoción y apenas 9,9 % alcanzaron el estándar óptimo de ≤ 1 UNT. En consecuencia, se concluye que, en condiciones de estación seca, el proceso mostró un desempeño aceptable desde el punto de vista normativo, aunque insuficiente en términos de eficiencia operativa óptima.

Durante la estación húmeda, la PTAP Huancayoc alcanzó una eficiencia promedio de remoción de turbidez de 76,85 %, superior a la registrada en la estación seca, con una mayor proporción de días con eficiencia ≥ 80 % (41,1 %) y un mejor cumplimiento del estándar de turbidez filtrada ≤ 1 UNT (18,9 %). Asimismo, la relación inversa más marcada entre turbidez cruda y turbidez filtrada ($r = -0,482$) indica un mejor comportamiento del proceso frente a mayores niveles de turbidez de entrada. Por tanto, se concluye que, en la estación húmeda, el sistema presentó un desempeño comparativamente más eficiente.

La comparación entre ambas estaciones demostró que la estacionalidad influye significativamente en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayoc, al registrarse una eficiencia media de 72,78 % en la estación seca y de 76,85 % en la estación húmeda, con diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,0024$). Del mismo modo, la turbidez filtrada promedio fue menor en la estación húmeda (1,31 UNT) que en la estación seca (1,36 UNT, diferencia que también resultó significativa ($p = 0,0127$)). En consecuencia, se concluye que la eficiencia del proceso varía según la estación, evidenciándose un mejor desempeño global durante la estación húmeda.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la entidad operadora del sistema de agua potable, por medio de la jefatura de operaciones y del personal responsable de planta, implementar un protocolo de control operativo para periodo seco basado en la medición diaria de la turbidez del agua cruda y del agua filtrada, complementado con la ejecución periódica de pruebas de jarras. Esta medida permitirá ajustar con mayor precisión la dosificación de sulfato de aluminio y mejorar la eficiencia del proceso bajo condiciones de baja turbidez de entrada.

Se recomienda a la jefatura de planta y al personal operador de la PTAP Huancayocc consolidar un esquema de operación diferenciada para este periodo, orientado al monitoreo más frecuente de la calidad del agua cruda y al ajuste oportuno de la dosis de coagulante en función de las variaciones de turbidez. Esta acción permitirá mantener y estabilizar la eficiencia alcanzada durante la época de lluvias, reduciendo el riesgo de fluctuaciones en la calidad del agua tratada.

Se recomienda a la entidad operadora de la PTAP Huancayocc, a través de su área técnica y de planificación, institucionalizar un esquema de operación estacional del proceso de coagulación, floculación y filtración, diferenciando procedimientos, frecuencias de control y criterios de ajuste según estación seca y estación húmeda. La formalización de este esquema permitirá mejorar la capacidad de respuesta operativa de la planta frente a la variabilidad climática y optimizar de manera sostenida el tratamiento del agua.

Se recomienda a la Dirección Regional de Salud de Ayacucho, en coordinación con la autoridad sanitaria competente y con la entidad operadora del sistema, incorporar a la PTAP Huancayocc en un programa de seguimiento técnico reforzado de la calidad del agua, priorizando la evaluación de parámetros vinculados al desempeño del tratamiento, tales como turbidez, pH y aluminio residual. Esta articulación interinstitucional permitirá detectar

oportunamente desviaciones operativas y promover la adopción de medidas correctivas orientadas al aseguramiento de la calidad del agua potable.

Se recomienda a la entidad operadora del servicio, mediante sus áreas administrativa, logística y de mantenimiento, gestionar la adquisición, mantenimiento preventivo y calibración periódica de equipos de monitoreo, especialmente turbidímetros y equipos multiparámetro. El fortalecimiento instrumental de la planta contribuirá a mejorar la precisión del control operativo, optimizar el uso del sulfato de aluminio y reducir riesgos asociados a una dosificación inadecuada del coagulante.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation.
- Castro-Jiménez, C. C., Saldarriaga-Molina, J. C., & García, E. F. (2024). Physical chemical characterisation of an alum based water treatment sludge in different raw water turbidity scenarios. *Heliyon*, *10*(17), e37579. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37579>
- Cui, H., Huang, X., Yu, Z., Chen, P., & Cao, X. (2020). Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC Advances*, *10*(34), 20231–20244. <https://doi.org/10.1039/D0RA02979C>
- Izquierdo Flores, A. M. (2015). *Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de agua de la Central Termoeléctrica “El Descanso”* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23008>
- Mensah-Akutteh, H., Buamah, R., Wiafe, S., & Nyarko, K. B. (2022). Optimizing coagulation flocculation processes with aluminium coagulation using response

- surface methods. *Applied Water Science*, 12, Article 188. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01708-1>
- Ministerio de Salud. (2010). *Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Plataforma Digital Única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Morales, A. M., Ramírez-Caballero, G., & Barajas-Meneses, M. (2020). Prediciendo la dosis de sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(6), 339–367. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-06-08>
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). *WMO climatological normals*. World Meteorological Organization. <https://community.wmo.int/en/wmo-climatological-normals>
- Oré Solier, L. (2014). *Evaluación de la eficiencia del floculante de sulfato de aluminio y Polifloc, policloruro de aluminio, empleado en la depuración de aguas con baja turbiedad en la planta de tratamiento de agua potable Quicapata, Ayacucho* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1037>
- PNUD. (2021). *Informe anual del PNUD 2021*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.undp.org/es/publicaciones/informe-anual-del-pnud-2021>
- Salvatierra Flores, A. L. (2025). *Influencia de la concentración de sulfato de aluminio en la calidad del agua potable obtenida a partir del agua superficial con alta carga de arcilla* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio Institucional UNICA. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/dd06d3fc-2b6f-4379-8546-f73a98d3fb1d>
- Sánchez Carlessi, H. H., & Reyes Meza, C. (2021). *Metodología y diseños en la investigación científica* (6.ª ed.). Universidad Ricardo Palma.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2025). *Descarga de datos meteorológicos*. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2022). *Sunass en cifras: Boletines estadísticos 2022*. SUNASS. <https://www.gob.pe/institucion/sunass/colecciones/15103-boletines-estadisticos-sunass-en-cifras>
- Velasquez Cachay, C. A. (2022). *Dosis óptima y eficiencia del coagulante sulfato de aluminio utilizado en el proceso de floculación para el tratamiento de agua potable en la EPS SEDACAJ S. A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/30225>
- World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

VIII. ANEXOS

Anexo 1

Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión	Metodología
<p>Problema General</p> <p>¿En qué medida varía la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio entre las estaciones seca y húmeda en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la variación estacional en la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio varía significativamente entre la estación seca y la estación húmeda en la PTAP Huancayocc – Huanta.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Estación climática</p>	<p>- Estación seca (mayo - septiembre)</p> <p>- Estación húmeda (octubre - febrero)</p>	<p>1.Enfoque: Cuantitativo.</p> <p>2.Tipo: Aplicada</p> <p>3. Nivel: Descriptivo.</p> <p>4.Diseño: No experimental, longitudinal y retrospectivo.</p> <p>5. Población: Registros semanales/mensuales de turbidez en la PTAP Huancayocc.</p> <p>6.Muestreo: No probabilístico, intencional.</p> <p>7. Técnica: Observación documental.</p> <p>8. Instrumentos: Análisis estadístico descriptivo y comparativo.</p> <p>9. Análisis: Estadística descriptiva e inferencial</p> <p>10.Línea de investigación: 1.05.08 Ciencias del Medio Ambiente</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿En qué medida se logra la remoción de turbidez durante la estación seca?</p> <p>¿En qué medida se logra la remoción de turbidez durante la estación húmeda?</p> <p>¿En qué medida difiere la eficiencia entre ambas estaciones?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio durante la estación seca en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025.</p> <p>Determinar la eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio durante la estación húmeda en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025.</p> <p>Comparar la eficiencia de remoción con sulfato de aluminio entre ambas estaciones en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025.</p>	<p>Hipótesis específica</p> <p>La eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la estación seca es significativamente alta en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025.</p> <p>La eficiencia de remoción de turbidez con sulfato de aluminio en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025, disminuye en la estación húmeda.</p> <p>Existen diferencias significativas entre la eficiencia de remoción en ambas estaciones en la PTAP Huancayocc – Huanta, durante el periodo 2024–2025.</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Eficiencia de remoción de turbidez</p>	<p>- Turbidez del agua cruda (UNT)</p> <p>- Turbidez del agua tratada (UNT)</p> <p>- Porcentaje de remoción (%)</p>	

Anexo 2*Registro de datos recopilados según estacionalidad – turbidez – quitar %*

Día	Mes y año evaluado	Estación	Registro de Turbidez (UNT)		Dosis óptima de Sulfato de Aluminio PPM
			Cruda	Filtrada	
1	junio del 2024	Seca	4.25	1.11	12
2	junio del 2024	Seca	4.36	1.34	12
3	junio del 2024	Seca	7.37	1.2	12
4	junio del 2024	Seca	5.87	1.64	12
5	junio del 2024	Seca	5.29	1.47	12
6	junio del 2024	Seca	5.33	1.45	12
7	junio del 2024	Seca	4.87	1.65	12
8	junio del 2024	Seca	4.37	1.57	12
9	junio del 2024	Seca	4.74	1.52	12
10	junio del 2024	Seca	4.51	1.65	12
11	junio del 2024	Seca	4.61	1.9	12
12	junio del 2024	Seca	5.27	1.95	12
13	junio del 2024	Seca	5.38	1.79	12
14	junio del 2024	Seca	4.23	1.74	12
15	junio del 2024	Seca	8.88	1.57	12
16	junio del 2024	Seca	5.37	1.41	12
17	junio del 2024	Seca	5.57	1.65	12
18	junio del 2024	Seca	5.35	2.22	12
19	junio del 2024	Seca	6.39	1.91	12
20	junio del 2024	Seca	5.15	1.32	12
21	junio del 2024	Seca	4.79	1.82	12
22	junio del 2024	Seca	4.14	1.76	12
23	junio del 2024	Seca	4.42	1.79	12
24	junio del 2024	Seca	4.01	1.68	12
25	junio del 2024	Seca	4.48	1.64	12
26	junio del 2024	Seca	3.83	1.69	12
27	junio del 2024	Seca	3.86	1.74	12
28	junio del 2024	Seca	4	1.72	12
29	junio del 2024	Seca	3.87	1.85	12
30	junio del 2024	Seca	4.86	1.64	12
1	julio del 2024	Seca	3.88	1.79	12
2	julio del 2024	Seca	3.53	1.78	12
3	julio del 2024	Seca	3.82	1.78	12
4	julio del 2024	Seca	3.68	1.72	12
5	julio del 2024	Seca	4.12	1.79	12
6	julio del 2024	Seca	9.93	1.8	13
7	julio del 2024	Seca	3.92	1.89	12
8	julio del 2024	Seca	3.83	1.73	12
9	julio del 2024	Seca	3.83	1.95	12
10	julio del 2024	Seca	9.7	2.08	12

Día	Mes y año evaluado	Estación	Registro de Turbidez (UNT)		Dosis óptima de Sulfato de Aluminio PPM
			Cruda	Filtrada	
11	julio del 2024	Seca	6.42	1.48	12
12	julio del 2024	Seca	6.04	1.74	12
13	julio del 2024	Seca	5.36	1.64	12
14	julio del 2024	Seca	4.88	1.59	12
15	julio del 2024	Seca	4.4	1.65	12
16	julio del 2024	Seca	4.26	1.5	12
17	julio del 2024	Seca	4.88	1.27	12
18	julio del 2024	Seca	4.67	1.33	12
19	julio del 2024	Seca	5.2	1.41	12
20	julio del 2024	Seca	4.55	1.4	12
21	julio del 2024	Seca	4.76	1.48	12
22	julio del 2024	Seca	4.75	1.35	12
23	julio del 2024	Seca	4.93	1.37	12
24	julio del 2024	Seca	4.44	1.35	12
25	julio del 2024	Seca	4.56	1.27	12
26	julio del 2024	Seca	4.29	1.2	12
27	julio del 2024	Seca	4.23	1.29	12
28	julio del 2024	Seca	4.3	1.29	12
29	julio del 2024	Seca	4.37	1.19	12
30	julio del 2024	Seca	4.54	1.28	12
31	julio del 2024	Seca	4.24	1.32	12
1	agosto del 2024	Seca	4.13	1.15	12
2	agosto del 2024	Seca	3.99	1.61	12
3	agosto del 2024	Seca	4.44	1.41	12
4	agosto del 2024	Seca	4.33	1.32	12
5	agosto del 2024	Seca	3.86	1.46	12
6	agosto del 2024	Seca	3.86	1.07	12
7	agosto del 2024	Seca	3.59	1.13	12
8	agosto del 2024	Seca	3.85	1.2	12
9	agosto del 2024	Seca	4.09	1.33	12
10	agosto del 2024	Seca	4.53	1.37	12
11	agosto del 2024	Seca	3.85	1.25	12
12	agosto del 2024	Seca	4.23	1.31	12
13	agosto del 2024	Seca	3.98	1.4	12
14	agosto del 2024	Seca	4.56	1.51	12
15	agosto del 2024	Seca	4.73	1.47	12
16	agosto del 2024	Seca	4.41	1.61	12
17	agosto del 2024	Seca	4.3	1.49	12
18	agosto del 2024	Seca	4.62	1.39	12
19	agosto del 2024	Seca	4.48	1.58	12
20	agosto del 2024	Seca	5.14	1.36	12
21	agosto del 2024	Seca	4.82	1.42	12
22	agosto del 2024	Seca	4.76	1.54	12
23	agosto del 2024	Seca	4.69	1.79	12
24	agosto del 2024	Seca	5.97	1.65	12

Día	Mes y año evaluado	Estación	Registro de Turbidez (UNT)		Dosis óptima de Sulfato de Aluminio PPM
			Cruda	Filtrada	
25	agosto del 2024	Seca	5.97	1.77	12
26	agosto del 2024	Seca	5.9	1.69	12
27	agosto del 2024	Seca	6.16	1.84	12
28	agosto del 2024	Seca	5.8	2.03	12
29	agosto del 2024	Seca	5.73	1.86	12
30	agosto del 2024	Seca	3.99	1.17	12
31	agosto del 2024	Seca	3.67	0.84	12
1	septiembre del 2024	Seca	3.76	0.95	12
2	septiembre del 2024	Seca	3.97	0.97	12
3	septiembre del 2024	Seca	3.8	0.94	12
4	septiembre del 2024	Seca	28	1.03	12
5	septiembre del 2024	Seca	30.3	0.7	14
6	septiembre del 2024	Seca	19.1	0.61	12
7	septiembre del 2024	Seca	13.5	0.71	12
8	septiembre del 2024	Seca	9.57	0.07	12
9	septiembre del 2024	Seca	13.1	0.63	12
10	septiembre del 2024	Seca	11.6	0.52	12
11	septiembre del 2024	Seca	11	0.58	12
12	septiembre del 2024	Seca	10.27	0.58	12
13	septiembre del 2024	Seca	9.88	0.6	12
14	septiembre del 2024	Seca	10.8	0.62	12
15	septiembre del 2024	Seca	12.5	0.68	12
16	septiembre del 2024	Seca	8.21	0.6	12
17	septiembre del 2024	Seca	7.11	0.43	12
18	septiembre del 2024	Seca	8.03	0.82	12
19	septiembre del 2024	Seca	6.78	0.98	12
20	septiembre del 2024	Seca	6.57	1.24	12
21	septiembre del 2024	Seca	6.81	1.12	12
22	septiembre del 2024	Seca	6.43	1.48	12
23	septiembre del 2024	Seca	5.94	1.32	12
24	septiembre del 2024	Seca	41.72	1.15	12
25	septiembre del 2024	Seca	21.39	0.47	12
26	septiembre del 2024	Seca	28.6	0.52	12
27	septiembre del 2024	Seca	27.9	0.57	12
28	septiembre del 2024	Seca	11.11	0.56	12
29	septiembre del 2024	Seca	8.6	1.02	12
30	septiembre del 2024	Seca	16.2	1.31	12
1	octubre del 2024	Húmeda	9.46	1.19	12
2	octubre del 2024	Húmeda	22.5	1.34	12
3	octubre del 2024	Húmeda	12.15	0.55	12
4	octubre del 2024	Húmeda	8.69	1.21	12
5	octubre del 2024	Húmeda	8.45	1.36	12
6	octubre del 2024	Húmeda	8.97	1.14	12
7	octubre del 2024	Húmeda	8.75	1.28	12
8	octubre del 2024	Húmeda	7.42	1.23	12

Día	Mes y año evaluado	Estación	Registro de Turbidez (UNT)		Dosis óptima de Sulfato de Aluminio PPM
			Cruda	Filtrada	
9	octubre del 2024	Húmeda	7.75	1.33	12
10	octubre del 2024	Húmeda	8.07	1.49	12
11	octubre del 2024	Húmeda	7.02	1.33	12
12	octubre del 2024	Húmeda	7.17	1.51	12
13	octubre del 2024	Húmeda	7.72	1.43	12
14	octubre del 2024	Húmeda	7.51	1.61	12
15	octubre del 2024	Húmeda	7.63	1.64	12
16	octubre del 2024	Húmeda	14.97	1.31	12
17	octubre del 2024	Húmeda	7.73	1.28	12
18	octubre del 2024	Húmeda	7.63	1.83	12
19	octubre del 2024	Húmeda	6.44	1.45	12
20	octubre del 2024	Húmeda	6.89	1.37	12
21	octubre del 2024	Húmeda	7.76	1.47	12
22	octubre del 2024	Húmeda	7.35	1.53	12
23	octubre del 2024	Húmeda	8.09	1.63	12
24	octubre del 2024	Húmeda	9.64	1.37	12
25	octubre del 2024	Húmeda	6.46	1.01	12
26	octubre del 2024	Húmeda	18.2	1.38	12
27	octubre del 2024	Húmeda	10.03	1.22	12
28	octubre del 2024	Húmeda	7.78	1.54	12
29	octubre del 2024	Húmeda	6.21	1.25	12
30	octubre del 2024	Húmeda	5.78	1.46	12
31	octubre del 2024	Húmeda	6.27	1.67	12
1	noviembre del 2024	Húmeda	5.63	1.65	12
2	noviembre del 2024	Húmeda	8.32	1.41	12
3	noviembre del 2024	Húmeda	7.38	1.37	12
4	noviembre del 2024	Húmeda	7	1.66	12
5	noviembre del 2024	Húmeda	6.68	1.622	12
6	noviembre del 2024	Húmeda	5.89	1.61	12
7	noviembre del 2024	Húmeda	6.09	1.58	12
8	noviembre del 2024	Húmeda	6.72	1.65	12
9	noviembre del 2024	Húmeda	66.6	1.11	12
10	noviembre del 2024	Húmeda	130.7	1.15	12
11	noviembre del 2024	Húmeda	40.1	1.34	12
12	noviembre del 2024	Húmeda	10.26	0.98	12
13	noviembre del 2024	Húmeda	8.82	1.26	12
14	noviembre del 2024	Húmeda	52.9	1.07	12
15	noviembre del 2024	Húmeda	17	1.11	12
16	noviembre del 2024	Húmeda	42.3	0.97	12
17	noviembre del 2024	Húmeda	82.7	0.91	12
18	noviembre del 2024	Húmeda	31.2	1.16	12
19	noviembre del 2024	Húmeda	6.79	1.44	12
20	noviembre del 2024	Húmeda	6.62	1.63	12
21	noviembre del 2024	Húmeda	5.87	1.64	12
22	noviembre del 2024	Húmeda	5.15	1.4	12

Día	Mes y año evaluado	Estación	Registro de Turbidez (UNT)		Dosis óptima de Sulfato de Aluminio PPM
			Cruda	Filtrada	
23	noviembre del 2024	Húmeda	9.19	1.4	12
24	noviembre del 2024	Húmeda	8.08	1.43	12
25	noviembre del 2024	Húmeda	5.18	1.73	12
26	noviembre del 2024	Húmeda	5.53	1.66	12
27	noviembre del 2024	Húmeda	4.59	1.54	12
28	noviembre del 2024	Húmeda	5.34	1.51	12
29	noviembre del 2024	Húmeda	5.35	1.74	12
30	noviembre del 2024	Húmeda	3.97	1.53	12
1	diciembre del 2024	Húmeda	9.95	1.4	12
2	diciembre del 2024	Húmeda	4.61	1.51	12
3	diciembre del 2024	Húmeda	24.1	1.72	12
4	diciembre del 2024	Húmeda	5.37	1.29	12
5	diciembre del 2024	Húmeda	4.95	1.72	12
6	diciembre del 2024	Húmeda	5.54	1.53	12
7	diciembre del 2024	Húmeda	3.99	1.4	12
8	diciembre del 2024	Húmeda	3.69	1.45	12
9	diciembre del 2024	Húmeda	10.8	1.3	12
10	diciembre del 2024	Húmeda	4.68	1.55	12
11	diciembre del 2024	Húmeda	4.57	1.56	12
12	diciembre del 2024	Húmeda	9.32	1.46	12
13	diciembre del 2024	Húmeda	4.86	1	12
14	diciembre del 2024	Húmeda	4.69	1.43	12
15	diciembre del 2024	Húmeda	4.08	1.34	12
16	diciembre del 2024	Húmeda	20	1.68	12
17	diciembre del 2024	Húmeda	4.92	1.63	12
18	diciembre del 2024	Húmeda	13.3	1.58	12
19	diciembre del 2024	Húmeda	6.48	1.33	12
20	diciembre del 2024	Húmeda	7.69	1.62	12
21	diciembre del 2024	Húmeda	5.42	1.28	12
22	diciembre del 2024	Húmeda	4.39	1.58	12
23	diciembre del 2024	Húmeda	3.75	1.51	12
24	diciembre del 2024	Húmeda	4.68	1.41	12
25	diciembre del 2024	Húmeda	4.21	1.25	12
26	diciembre del 2024	Húmeda	3.85	1.29	12
27	diciembre del 2024	Húmeda	4.2	1.13	12
28	diciembre del 2024	Húmeda	4.08	1.2	12
29	diciembre del 2024	Húmeda	5.26	1.21	12
30	diciembre del 2024	Húmeda	4.23	1.15	12
31	diciembre del 2024	Húmeda	9.73	1.05	15
1	enero del 2025	Húmeda	3.91	0.93	12
2	enero del 2025	Húmeda	14.6	1.14	12
3	enero del 2025	Húmeda	6.64	1.83	12
4	enero del 2025	Húmeda	4.75	1.54	12
5	enero del 2025	Húmeda	22.2	1.44	12
6	enero del 2025	Húmeda	4.79	1.15	12

Día	Mes y año evaluado	Estación	Registro de Turbidez (UNT)		Dosis óptima de Sulfato de Aluminio PPM
			Cruda	Filtrada	
7	enero del 2025	Húmeda	11.7	1.64	13
8	enero del 2025	Húmeda	4.69	0.87	12
9	enero del 2025	Húmeda	3.77	1.41	12
10	enero del 2025	Húmeda	3.21	1.36	12
11	enero del 2025	Húmeda	3.28	1.32	12
12	enero del 2025	Húmeda	19.11	1.26	18
13	enero del 2025	Húmeda	3.74	1.45	12
14	enero del 2025	Húmeda	3.44	1.32	12
15	enero del 2025	Húmeda	3.04	1.11	12
16	enero del 2025	Húmeda	2.94	1.23	12
17	enero del 2025	Húmeda	2.83	1.2	12
18	enero del 2025	Húmeda	2.72	1.13	12
19	enero del 2025	Húmeda	10.1	1.19	12
20	enero del 2025	Húmeda	8.44	1.17	14
21	enero del 2025	Húmeda	6.58	1.23	12
22	enero del 2025	Húmeda	4.36	1.14	12
23	enero del 2025	Húmeda	4.14	1.35	12
24	enero del 2025	Húmeda	3.26	1.38	12
25	enero del 2025	Húmeda	2.72	1.1	12
26	enero del 2025	Húmeda	2.89	1.18	12
27	enero del 2025	Húmeda	2.91	1.28	12
28	enero del 2025	Húmeda	2.95	0.99	12
29	enero del 2025	Húmeda	2.53	1.11	12
30	enero del 2025	Húmeda	2.74	1.15	12
31	enero del 2025	Húmeda	6.79	1.21	12
1	febrero del 2025	Húmeda	15.5	1.5	12
2	febrero del 2025	Húmeda	3.46	1.13	12
3	febrero del 2025	Húmeda	2.75	1.23	12
4	febrero del 2025	Húmeda	2.94	1.01	12
5	febrero del 2025	Húmeda	2.96	1.11	12
6	febrero del 2025	Húmeda	3.03	1.09	12
7	febrero del 2025	Húmeda	2.66	0.95	12
8	febrero del 2025	Húmeda	9.64	1.4	15
9	febrero del 2025	Húmeda	4.04	1.23	12
10	febrero del 2025	Húmeda	3.34	1.11	12
11	febrero del 2025	Húmeda	3.13	1.09	12
12	febrero del 2025	Húmeda	3.45	0.97	12
13	febrero del 2025	Húmeda	3.02	0.99	12
14	febrero del 2025	Húmeda	2.96	1.19	12
15	febrero del 2025	Húmeda	3.19	1.05	12
16	febrero del 2025	Húmeda	8.04	1.05	14
17	febrero del 2025	Húmeda	5.75	0.95	12
18	febrero del 2025	Húmeda	5.68	1.29	12
19	febrero del 2025	Húmeda	7.1	1.01	12
20	febrero del 2025	Húmeda	6.23	0.81	12

Día	Mes y año evaluado	Estación	Registro de Turbidez (UNT)		Dosis óptima de Sulfato de Aluminio PPM
			Cruda	Filtrada	
21	febrero del 2025	Húmeda	12.2	0.6	15
22	febrero del 2025	Húmeda	5.78	1.32	12
23	febrero del 2025	Húmeda	14.5	1.21	12
24	febrero del 2025	Húmeda	15.07	0.82	15
25	febrero del 2025	Húmeda	7.77	1.12	12
26	febrero del 2025	Húmeda	5.15	1.22	12
27	febrero del 2025	Húmeda	4.9	1.23	12
28	febrero del 2025	Húmeda	8.53	1.21	12

Anexo 3*Eficiencia de remoción de turbidez diaria*

Ítem	Fecha	Estación	Eficiencia de remoción (%)
1	1/06/2024	Seca	73.88
2	2/06/2024	Seca	69.27
3	3/06/2024	Seca	83.72
4	4/06/2024	Seca	72.06
5	5/06/2024	Seca	72.21
6	6/06/2024	Seca	72.8
7	7/06/2024	Seca	66.12
8	8/06/2024	Seca	64.07
9	9/06/2024	Seca	67.93
10	10/06/2024	Seca	63.41
11	11/06/2024	Seca	58.79
12	12/06/2024	Seca	63
13	13/06/2024	Seca	66.73
14	14/06/2024	Seca	58.87
15	15/06/2024	Seca	82.32
16	16/06/2024	Seca	73.74
17	17/06/2024	Seca	70.38
18	18/06/2024	Seca	58.5
19	19/06/2024	Seca	70.11
20	20/06/2024	Seca	74.37
21	21/06/2024	Seca	62
22	22/06/2024	Seca	57.49
23	23/06/2024	Seca	59.5
24	24/06/2024	Seca	58.1
25	25/06/2024	Seca	63.39
26	26/06/2024	Seca	55.87
27	27/06/2024	Seca	54.92
28	28/06/2024	Seca	57
29	29/06/2024	Seca	52.2
30	30/06/2024	Seca	66.26
31	1/07/2024	Seca	53.87
32	2/07/2024	Seca	49.58
33	3/07/2024	Seca	53.4
34	4/07/2024	Seca	53.26
35	5/07/2024	Seca	56.55
36	6/07/2024	Seca	81.87
37	7/07/2024	Seca	51.79
38	8/07/2024	Seca	54.83
39	9/07/2024	Seca	49.09
40	10/07/2024	Seca	78.56
41	11/07/2024	Seca	76.95

Ítem	Fecha	Estación	Eficiencia de remoción (%)
42	12/07/2024	Seca	71.19
43	13/07/2024	Seca	69.4
44	14/07/2024	Seca	67.42
45	15/07/2024	Seca	62.5
46	16/07/2024	Seca	64.79
47	17/07/2024	Seca	73.98
48	18/07/2024	Seca	71.52
49	19/07/2024	Seca	72.88
50	20/07/2024	Seca	69.23
51	21/07/2024	Seca	68.91
52	22/07/2024	Seca	71.58
53	23/07/2024	Seca	72.21
54	24/07/2024	Seca	69.59
55	25/07/2024	Seca	72.15
56	26/07/2024	Seca	72.03
57	27/07/2024	Seca	69.5
58	28/07/2024	Seca	70
59	29/07/2024	Seca	72.77
60	30/07/2024	Seca	71.81
61	31/07/2024	Seca	68.87
62	1/08/2024	Seca	72.15
63	2/08/2024	Seca	59.65
64	3/08/2024	Seca	68.24
65	4/08/2024	Seca	69.52
66	5/08/2024	Seca	62.18
67	6/08/2024	Seca	72.28
68	7/08/2024	Seca	68.52
69	8/08/2024	Seca	68.83
70	9/08/2024	Seca	67.48
71	10/08/2024	Seca	69.76
72	11/08/2024	Seca	67.53
73	12/08/2024	Seca	69.03
74	13/08/2024	Seca	64.82
75	14/08/2024	Seca	66.89
76	15/08/2024	Seca	68.92
77	16/08/2024	Seca	63.49
78	17/08/2024	Seca	65.35
79	18/08/2024	Seca	69.91
80	19/08/2024	Seca	64.73
81	20/08/2024	Seca	73.54
82	21/08/2024	Seca	70.54
83	22/08/2024	Seca	67.65
84	23/08/2024	Seca	61.83
85	24/08/2024	Seca	72.36
86	25/08/2024	Seca	70.35

Ítem	Fecha	Estación	Eficiencia de remoción (%)
87	26/08/2024	Seca	71.36
88	27/08/2024	Seca	70.13
89	28/08/2024	Seca	65
90	29/08/2024	Seca	67.54
91	30/08/2024	Seca	70.68
92	31/08/2024	Seca	77.11
93	1/09/2024	Seca	74.73
94	2/09/2024	Seca	75.57
95	3/09/2024	Seca	75.26
96	4/09/2024	Seca	96.32
97	5/09/2024	Seca	97.69
98	6/09/2024	Seca	96.81
99	7/09/2024	Seca	94.74
100	8/09/2024	Seca	99.27
101	9/09/2024	Seca	95.19
102	10/09/2024	Seca	95.52
103	11/09/2024	Seca	94.73
104	12/09/2024	Seca	94.35
105	13/09/2024	Seca	93.93
106	14/09/2024	Seca	94.26
107	15/09/2024	Seca	94.56
108	16/09/2024	Seca	92.69
109	17/09/2024	Seca	93.95
110	18/09/2024	Seca	89.79
111	19/09/2024	Seca	85.55
112	20/09/2024	Seca	81.13
113	21/09/2024	Seca	83.55
114	22/09/2024	Seca	76.98
115	23/09/2024	Seca	77.78
116	24/09/2024	Seca	97.24
117	25/09/2024	Seca	97.8
118	26/09/2024	Seca	98.18
119	27/09/2024	Seca	97.96
120	28/09/2024	Seca	94.96
121	29/09/2024	Seca	88.14
122	30/09/2024	Seca	91.91
123	1/10/2024	Húmeda	87.42
124	2/10/2024	Húmeda	94.04
125	3/10/2024	Húmeda	95.47
126	4/10/2024	Húmeda	86.08
127	5/10/2024	Húmeda	83.91
128	6/10/2024	Húmeda	87.29
129	7/10/2024	Húmeda	85.37
130	8/10/2024	Húmeda	83.42
131	9/10/2024	Húmeda	82.84

Ítem	Fecha	Estación	Eficiencia de remoción (%)
132	10/10/2024	Húmeda	81.54
133	11/10/2024	Húmeda	81.05
134	12/10/2024	Húmeda	78.94
135	13/10/2024	Húmeda	81.48
136	14/10/2024	Húmeda	78.56
137	15/10/2024	Húmeda	78.51
138	16/10/2024	Húmeda	91.25
139	17/10/2024	Húmeda	83.44
140	18/10/2024	Húmeda	76.02
141	19/10/2024	Húmeda	77.48
142	20/10/2024	Húmeda	80.12
143	21/10/2024	Húmeda	81.06
144	22/10/2024	Húmeda	79.18
145	23/10/2024	Húmeda	79.85
146	24/10/2024	Húmeda	85.79
147	25/10/2024	Húmeda	84.37
148	26/10/2024	Húmeda	92.42
149	27/10/2024	Húmeda	87.84
150	28/10/2024	Húmeda	80.21
151	29/10/2024	Húmeda	79.87
152	30/10/2024	Húmeda	74.74
153	31/10/2024	Húmeda	73.37
154	1/11/2024	Húmeda	70.69
155	2/11/2024	Húmeda	83.05
156	3/11/2024	Húmeda	81.44
157	4/11/2024	Húmeda	76.29
158	5/11/2024	Húmeda	75.72
159	6/11/2024	Húmeda	72.67
160	7/11/2024	Húmeda	74.06
161	8/11/2024	Húmeda	75.45
162	9/11/2024	Húmeda	98.33
163	10/11/2024	Húmeda	99.12
164	11/11/2024	Húmeda	96.66
165	12/11/2024	Húmeda	90.45
166	13/11/2024	Húmeda	85.71
167	14/11/2024	Húmeda	97.98
168	15/11/2024	Húmeda	93.47
169	16/11/2024	Húmeda	97.71
170	17/11/2024	Húmeda	98.9
171	18/11/2024	Húmeda	96.28
172	19/11/2024	Húmeda	78.79
173	20/11/2024	Húmeda	75.38
174	21/11/2024	Húmeda	72.06
175	22/11/2024	Húmeda	72.82
176	23/11/2024	Húmeda	84.77

Ítem	Fecha	Estación	Eficiencia de remoción (%)
177	24/11/2024	Húmeda	82.3
178	25/11/2024	Húmeda	66.6
179	26/11/2024	Húmeda	69.98
180	27/11/2024	Húmeda	66.45
181	28/11/2024	Húmeda	71.72
182	29/11/2024	Húmeda	67.48
183	30/11/2024	Húmeda	61.46
184	1/12/2024	Húmeda	85.93
185	2/12/2024	Húmeda	67.25
186	3/12/2024	Húmeda	92.86
187	4/12/2024	Húmeda	75.98
188	5/12/2024	Húmeda	65.25
189	6/12/2024	Húmeda	72.38
190	7/12/2024	Húmeda	64.91
191	8/12/2024	Húmeda	60.7
192	9/12/2024	Húmeda	87.96
193	10/12/2024	Húmeda	66.88
194	11/12/2024	Húmeda	65.86
195	12/12/2024	Húmeda	84.33
196	13/12/2024	Húmeda	79.42
197	14/12/2024	Húmeda	69.51
198	15/12/2024	Húmeda	67.16
199	16/12/2024	Húmeda	91.6
200	17/12/2024	Húmeda	66.87
201	18/12/2024	Húmeda	88.12
202	19/12/2024	Húmeda	79.48
203	20/12/2024	Húmeda	78.93
204	21/12/2024	Húmeda	76.38
205	22/12/2024	Húmeda	64.01
206	23/12/2024	Húmeda	59.73
207	24/12/2024	Húmeda	69.87
208	25/12/2024	Húmeda	70.31
209	26/12/2024	Húmeda	66.49
210	27/12/2024	Húmeda	73.1
211	28/12/2024	Húmeda	70.59
212	29/12/2024	Húmeda	77
213	30/12/2024	Húmeda	72.81
214	31/12/2024	Húmeda	89.21
215	1/01/2025	Húmeda	76.21
216	2/01/2025	Húmeda	92.19
217	3/01/2025	Húmeda	72.44
218	4/01/2025	Húmeda	67.58
219	5/01/2025	Húmeda	93.51
220	6/01/2025	Húmeda	75.99
221	7/01/2025	Húmeda	85.98

Ítem	Fecha	Estación	Eficiencia de remoción (%)
222	8/01/2025	Húmeda	81.45
223	9/01/2025	Húmeda	62.6
224	10/01/2025	Húmeda	57.63
225	11/01/2025	Húmeda	59.76
226	12/01/2025	Húmeda	93.41
227	13/01/2025	Húmeda	61.23
228	14/01/2025	Húmeda	61.63
229	15/01/2025	Húmeda	63.49
230	16/01/2025	Húmeda	58.16
231	17/01/2025	Húmeda	57.6
232	18/01/2025	Húmeda	58.46
233	19/01/2025	Húmeda	88.22
234	20/01/2025	Húmeda	86.14
235	21/01/2025	Húmeda	81.31
236	22/01/2025	Húmeda	73.85
237	23/01/2025	Húmeda	67.39
238	24/01/2025	Húmeda	57.67
239	25/01/2025	Húmeda	59.56
240	26/01/2025	Húmeda	59.17
241	27/01/2025	Húmeda	56.01
242	28/01/2025	Húmeda	66.44
243	29/01/2025	Húmeda	56.13
244	30/01/2025	Húmeda	58.03
245	31/01/2025	Húmeda	82.18
246	1/02/2025	Húmeda	90.32
247	2/02/2025	Húmeda	67.34
248	3/02/2025	Húmeda	55.27
249	4/02/2025	Húmeda	65.65
250	5/02/2025	Húmeda	62.5
251	6/02/2025	Húmeda	64.03
252	7/02/2025	Húmeda	64.29
253	8/02/2025	Húmeda	85.48
254	9/02/2025	Húmeda	69.55
255	10/02/2025	Húmeda	66.77
256	11/02/2025	Húmeda	65.18
257	12/02/2025	Húmeda	71.88
258	13/02/2025	Húmeda	67.22
259	14/02/2025	Húmeda	59.8
260	15/02/2025	Húmeda	67.08
261	16/02/2025	Húmeda	86.94
262	17/02/2025	Húmeda	83.48
263	18/02/2025	Húmeda	77.29
264	19/02/2025	Húmeda	85.77
265	20/02/2025	Húmeda	87
266	21/02/2025	Húmeda	95.08

Ítem	Fecha	Estación	Eficiencia de remoción (%)
267	22/02/2025	Húmeda	77.16
268	23/02/2025	Húmeda	91.66
269	24/02/2025	Húmeda	94.56
270	25/02/2025	Húmeda	85.59
271	26/02/2025	Húmeda	76.31
272	27/02/2025	Húmeda	74.9
273	28/02/2025	Húmeda	85.81

Anexo 4*Registro de datos recopilados según estacionalidad - precipitación*

Día / Mes / Año	Temperatura		Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/Día)
	Max	Min		Total
1/06/2024	27.6	5.2	60.7	0
2/06/2024	27.4	5.6	61.2	0
3/06/2024	27.2	5.2	67.4	0
4/06/2024	26.2	3.8	53.3	0
5/06/2024	27	5	49.1	0
6/06/2024	27.2	3.2	58.3	0
7/06/2024	25.6	2.4	64	0
8/06/2024	25.4	1.2	59.3	0
9/06/2024	25.2	1.2	59.9	0
10/06/2024	26.2	2	61.4	0
11/06/2024	26.4	3.8	57	0
12/06/2024	27.2	5	68	0
13/06/2024	27.2	7	64.8	0
14/06/2024	27.6	7.2	60.5	0
15/06/2024	24.6	7.4	67.8	0
16/06/2024	26.8	8.2	71.3	0
17/06/2024	26.4	8.2	64.5	0
18/06/2024	27.2	10.8	62.8	3.8
19/06/2024	21.4	10.2	88.9	1.7
20/06/2024	20.2	11.2	84.2	0
21/06/2024	21.2	10	75.4	0
22/06/2024	24	5.2	66.2	0
23/06/2024	27	5.8	63.8	0
24/06/2024	27	6.2	58.4	0
25/06/2024	26.4	6.4	67.7	0
26/06/2024	26.4	6.6	67.8	0
27/06/2024	25.4	7.2	67.4	0
28/06/2024	27.2	7.2	65.7	0
29/06/2024	26.8	7.2	67.4	0
30/06/2024	27.8	9.8	58	0
1/07/2024	27.4	7.4	64.7	0
2/07/2024	26.8	6.4	64.2	0
3/07/2024	27.2	5.8	67.4	0
4/07/2024	27.6	4.8	59.7	0
5/07/2024	27.4	5.2	60.9	0
6/07/2024	25.2	6.4	66.4	0
7/07/2024	26.4	8	61	0
8/07/2024	26.4	9.8	61.6	0
9/07/2024	26.2	7.6	65.2	0
10/07/2024	25.6	4	65.6	0

Día / Mes / Año	Temperatura		Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/Día)
	Max	Min		Total
11/07/2024	25.8	3.8	64.6	0
12/07/2024	25.8	4	46	0
13/07/2024	25.2	4.8	66.8	0
14/07/2024	26.2	5.6	63.6	0
15/07/2024	27	5.8	61.9	0
16/07/2024	27.8	5.4	54.4	0
17/07/2024	25.4	2.8	57.1	0
18/07/2024	24.6	1.2	60.3	0
19/07/2024	26	0.6	57.5	0
20/07/2024	25.6	1	54.6	0
21/07/2024	26.2	2.2	56.6	0
22/07/2024	27	3.8	59.8	0
23/07/2024	25.6	5.2	64.7	0
24/07/2024	26.2	7	61.9	0
25/07/2024	27	6.8	58.8	0
26/07/2024	27	8	55.1	0
27/07/2024	27.4	6.6	56.9	0
28/07/2024	27.2	6.4	61.3	0
29/07/2024	26.4	7.4	64.8	0
30/07/2024	25	7.4	70.5	0
31/07/2024	26.8	8	62.1	0
1/08/2024	27.6	7.2	62	0
2/08/2024	27.8	8.2	57.9	0
3/08/2024	26.8	8	63.1	0
4/08/2024	26.6	6.8	70.8	0
5/08/2024	27	8.6	67	0
6/08/2024	26.4	6.4	56.9	0
7/08/2024	26	4.2	58.8	0
8/08/2024	27.2	5.6	54.7	0
9/08/2024	27	8.6	63.9	0
10/08/2024	27.8	8	60.9	0
11/08/2024	28.2	6.6	53.9	0
12/08/2024	26.6	6.2	53.7	0
13/08/2024	27.6	8.8	61.5	0
14/08/2024	28.4	6.8	51.8	0
15/08/2024	27.2	4.8	65.6	0
16/08/2024	27.2	4	67.3	0
17/08/2024	28.6	4.2	71.8	0
18/08/2024	27	4	61.4	0
19/08/2024	30.2	5.2	74.6	0
20/08/2024	29.6	6	70.6	0
21/08/2024	31.2	9	68.6	0
22/08/2024	32	8.8	67.1	0
23/08/2024	30.6	7.8	61.3	0
24/08/2024	28.8	8.6	75.2	0

Día / Mes / Año	Temperatura		Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/Día)
	Max	Min		Total
25/08/2024	30.6	9.8	71.7	0
26/08/2024	31.4	9.4	64.4	0
27/08/2024	30.8	10.6	79.4	0
28/08/2024	31.2	8.6	67.9	0
29/08/2024	31	8.2	83.2	0
30/08/2024	30	8.8	80.6	0
31/08/2024	31.2	9.6	81.1	0
1/09/2024	30	8	80.2	0
2/09/2024	28.4	10.2	83.7	0
3/09/2024	32.2	7.6	83.3	0
4/09/2024	31.8	7.2	85.9	0
5/09/2024	30.8	7.6	87.6	0
6/09/2024	28.8	4.6	94.6	0
7/09/2024	29.8	7.8	85.7	0
8/09/2024	31.2	7	82.2	0
9/09/2024	30.8	6.8	93.1	0
10/09/2024	32	7	91.3	0
11/09/2024	32	6	88.3	0
12/09/2024	31.4	6.4	92.3	0
13/09/2024	32.6	8.6	88.6	0
14/09/2024	31.4	11.8	95.1	1.7
15/09/2024	30.2	10.8	86.8	4.4
16/09/2024	31.6	12	93.7	0
17/09/2024	30	9.8	93.6	0
18/09/2024	32.8	11	93.5	0
19/09/2024	29.4	10.4	92.8	0
20/09/2024	31.6	10	89.8	0
21/09/2024	29.8	12.2	82.5	0
22/09/2024	30.4	11.2	85.5	0
23/09/2024	31.6	7.4	85.7	0
24/09/2024	32.6	7	87.9	0
25/09/2024	33.4	8.2	90.5	0
26/09/2024	30.6	11	85.8	0
27/09/2024	33	12.8	88.6	1.6
28/09/2024	28.6	12.2	90.8	0
29/09/2024	31.2	8.4	93.1	0
30/09/2024	31.2	12.5	88.7	0
1/10/2024	31.2	11	90.9	0
2/10/2024	34.6	9.8	90.1	2.2
3/10/2024	27.2	13.2	93.8	0
4/10/2024	31.4	10.2	92.3	0
5/10/2024	27	10.4	94.3	0
6/10/2024	27.8	8.4	94.8	0
7/10/2024	33.2	9	94.3	0
8/10/2024	33	9.6	94	1.5

Día / Mes / Año	Temperatura		Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/Día)
	Max	Min		Total
9/10/2024	32.6	10.4	92.8	0
10/10/2024	33.2	8.2	95.2	0
11/10/2024	33	9	90	0
12/10/2024	32	8.2	95.3	0
13/10/2024	29.6	11.6	96	0
14/10/2024	26.8	10.8	95.3	0
15/10/2024	32.6	8.4	94.3	0.7
16/10/2024	32.2	10.6	96	0
17/10/2024	33.2	10.2	93.8	0
18/10/2024	34.8	9.2	95.8	0
19/10/2024	34.6	10.4	96	0
20/10/2024	33.2	9	95.5	0
21/10/2024	34.4	10.6	96.3	0
22/10/2024	33.6	11.6	92.5	3.6
23/10/2024	31	11.6	94.9	1.7
24/10/2024	33.6	10.8	97.3	1.5
25/10/2024	31.4	10.2	94.5	0
26/10/2024	31	10	97.2	0
27/10/2024	31.4	8.4	95.5	0.8
28/10/2024	29.4	13.2	92.8	0
29/10/2024	30.6	12.4	95.6	0
30/10/2024	31.8	13.8	95.8	1.5
31/10/2024	34.8	10	95.7	0
1/11/2024	33.2	7.6	96.3	0
2/11/2024	34.4	11.2	95.3	0
3/11/2024	32	13.4	95.1	1.2
4/11/2024	33.6	11.2	95.1	0
5/11/2024	20.8	12.6	95.7	2.8
6/11/2024	32.6	10.4	94.6	0
7/11/2024	31.8	10	95	0
8/11/2024	33.2	10.4	95.1	10
9/11/2024	26.8	12.4	95.4	0
10/11/2024	30.4	13	94.8	3.9
11/11/2024	31.2	11	95.4	0
12/11/2024	28.2	12.6	95.2	7.6
13/11/2024	27.6	11.4	95.2	7.8
14/11/2024	27.6	11.2	94.7	0
15/11/2024	28.2	12.6	94.7	10
16/11/2024	28	12.4	96.1	0
17/11/2024	31.8	12	96.2	2.4
18/11/2024	32	12.6	95.4	0
19/11/2024	31.4	8.8	95	0
20/11/2024	32.4	12.8	94.7	0.8
21/11/2024	28.2	12.8	95.5	0.6
22/11/2024	S/D	13.8	96.6	0

Día / Mes / Año	Temperatura		Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/Día)
	Max	Min		Total
23/11/2024	30.8	12	93.9	4.2
24/11/2024	26	11.8	93.9	0
25/11/2024	27	12	94.7	0
26/11/2024	30.41	11.6	93.9	0
27/11/2024	27	13	95.6	0
28/11/2024	31.6	11.6	95.7	8.6
29/11/2024	26.6	12.8	93.6	1.2
30/11/2024	32	11	94	0
1/12/2024	30.4	11.4	94.9	3.4
2/12/2024	30.8	12	74.1	1.3
3/12/2024	28.6	13.4	94.4	1.6
4/12/2024	27.8	12	91.5	1.4
5/12/2024	31.6	12.2	95.5	0.2
6/12/2024	31.2	7.6	93.9	0
7/12/2024	24.6	8.8	95.2	0
8/12/2024	31	11.4	93.5	13.7
9/12/2024	23.4	12	93.3	4
10/12/2024	29.6	9.8	93.6	0.8
11/12/2024	28.2	13.6	93.6	0
12/12/2024	32	9.4	94.4	6.7
13/12/2024	29.4	12.4	93.8	9.4
14/12/2024	25.8	12.2	90.5	4
15/12/2024	28.2	11	93	9.9
16/12/2024	21.2	11.2	94.2	0
17/12/2024	28.4	9.2	92.9	0
18/12/2024	26.8	12.8	92.6	9.2
19/12/2024	27.6	12.2	94.8	4.3
20/12/2024	27	11.4	94.3	0.5
21/12/2024	31.2	10.2	94.9	0
22/12/2024	31	13.8	95.7	0
23/12/2024	28.6	13.4	94.4	0
24/12/2024	32.4	11	94	0
25/12/2024	32.2	12.6	94.1	0
26/12/2024	30.8	12	95.3	0
27/12/2024	32.6	11.4	94.2	0
28/12/2024	32	11.6	95.1	0
29/12/2024	29.4	11.8	93.3	0.9
30/12/2024	30	11.8	93.9	7.8
31/12/2024	23.4	12.4	91.6	10.3
1/01/2025	25.8	12.4	93.6	25.2
2/01/2025	22.6	10	85.9	6.8
3/01/2025	27	10.8	94.6	3.9
4/01/2025	29	11.6	93.4	2
5/01/2025	30	11.8	92.8	1.6
6/01/2025	26.6	10.6	89.2	3.2

Día / Mes / Año	Temperatura		Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/Día)
	Max	Min		Total
7/01/2025	29.4	13	90.6	1.9
8/01/2025	28.6	11.2	90.7	0
9/01/2025	27.4	13.4	88.7	1.8
10/01/2025	26.2	12.2	88.4	1.3
11/01/2025	29.2	11.2	86.9	30.5
12/01/2025	27.2	12.2	90.1	0
13/01/2025	31.4	10.2	90.1	0
14/01/2025	31.8	9.2	90.4	0
15/01/2025	32.2	8	86.3	0
16/01/2025	31	8.6	91.5	0
17/01/2025	26.8	12	89.1	0.5
18/01/2025	29.4	12.4	91.4	5.2
19/01/2025	27.8	11	87.7	4.9
20/01/2025	27.6	11.8	89.1	4.3
21/01/2025	28.6	12.6	91.1	9.9
22/01/2025	26.8	11.4	90	6.4
23/01/2025	27.8	11.8	87.9	0
24/01/2025	28.8	12.8	88.7	0
25/01/2025	36	11.4	91.2	2.2
26/01/2025	25.8	10.2	90	3.1
27/01/2025	29.2	11.8	92.3	0.7
28/01/2025	25.8	14.6	88.3	1
29/01/2025	28.2	11.8	91.3	0
30/01/2025	26.6	13	92.6	0
31/01/2025	29.6	13.2	90.8	3.4
1/02/2025	26.4	13.8	92	3.8
2/02/2025	28.8	12.8	90.6	0
3/02/2025	30.6	11.4	92.5	0.6
4/02/2025	24.4	12	89.3	1.5
5/02/2025	29	11	88.8	0
6/02/2025	27.6	12.6	91.1	0
7/02/2025	31	10.8	89.2	2
8/02/2025	28	6.6	93.8	5.5
9/02/2025	27.2	6	92	1.1
10/02/2025	26.4	10	92.6	1.3
11/02/2025	28.6	11.2	91.3	10.4
12/02/2025	24.6	11.6	91.4	1.7
13/02/2025	26.8	12	93	3.9
14/02/2025	29	12.2	92.3	6.5
15/02/2025	27.8	11.8	92.7	0
16/02/2025	28.6	13.6	90.3	4.4
17/02/2025	29.8	11.8	93.2	2.2
18/02/2025	25.6	12.2	90.4	1.8
19/02/2025	28.6	13.2	92.4	12.3
20/02/2025	26.4	12.2	92.2	9.4

Día / Mes / Año	Temperatura		Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm/Día)
	Max	Min		Total
21/02/2025	25.2	12	91	0
22/02/2025	29.2	10.4	94.8	11.7
23/02/2025	25.8	11.4	92.2	0
24/02/2025	27.6	12	94	0
25/02/2025	29.8	11.8	92.8	0
26/02/2025	29.8	12.6	93.8	0
27/02/2025	31	11	93.5	0
28/02/2025	28.8	12.4	92.2	19.7

Anexo 5

Autorización de acceso a datos sobre turbidez en la PTAP Huancayo.

SEDA AYACUCHO - GERENCIA HUANTA Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Ayacucho S.A. Llevamos Vida a tu Hogar	
MESA DE PARTES RECIBIDO	
23 JUN 2025	
N° EXP: 0447	FOLIO: 01
HORA: 12:03	FIRMA: [Firma]

SOLICITO: Una copia del registro de control de calidad y control de turbiedad de la PTAP Huancayo.

**SEÑOR GERENTE DE LA SUCURSAL HUANTA SEDA AYACUCHO.
DR. JUAN CARLOS MUNAYLLA QUISPE**

Yo, **EDSON BARBOZA BRAVO**, identificado con DNI N°73366713, domiciliado en Jr. Félix Gavilán N°191, del distrito de la provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. Siendo servidor de la EPS SEDA como operador de planta; ante usted con el debido respeto me presento y expongo:

Me dirijo a usted de manera respetuosa con el fin de solicitar el acceso a los datos recopilados del registro de control de calidad y control de turbiedad, en periodo comprendido entre mayo 2023 a mayo 2024.

Dicha información será utilizada únicamente con fines académicos, en el marco del desarrollo de una investigación de tesis titulada: Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez en el proceso de coagulación con sulfato de aluminio de la planta de tratamiento de agua potable Huancayo - Huanta, 2024 - 2025. que realizo como parte de mis estudios en la Universidad Nacional Autónoma de Huanta.

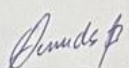
Me comprometo a utilizar los datos de manera confidencial y respetando todas las normas éticas y legales vigentes, sin alterar ni difundir la información sin la debida autorización.

Agradezco de antemano su colaboración y quedo atento(a) a cualquier documentación adicional que necesiten para tramitar esta solicitud.

Esperando su aprobación de la presente solicitud, agradeciendo de antemano.

Quedo atento a su amable respuesta.

Huanta, 23 de junio del 2025.



 Edson M. Barboza Bravo
 DNI: 73366713

Anexo 6

Panel fotográfico

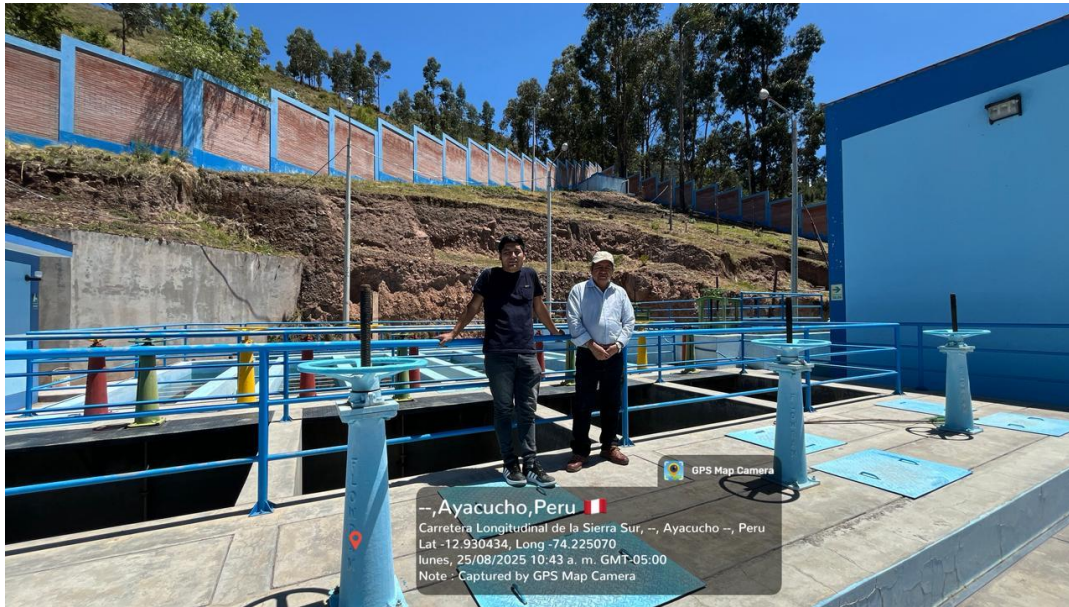
Visita del asesor en el laboratorio de la PTAP Huancayoc



Verificación de las instalaciones de la PTAP Huancayoc



Análisis del sistema de tratamiento de la PTAP Huancayo



Validación del registro de datos de turbidez por el área técnica de la PTAP Huancayo

