

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO
PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA
CONSUMO HUMANO BAGUA, AMAZONAS**

Autor:

Bach. Sue Natasha Carrasco Ortiz

Asesor:

M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2024

DEDICATORIA

A Dios, fuente infinita de sabiduría y guía, que ha iluminado mi camino en este viaje académico. A mis padres, cuyo amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido mi mayor inspiración, y a mi amada familia, cuyo aliento constante ha sido mi motor en cada paso del camino. Esta tesis, dedicada a ustedes, es el fruto de su amor y sacrificio. Que este trabajo contribuya, en su modestia, a un mundo mejor, guiado por la preservación y cuidado de nuestro preciado recurso: el agua.

Sue Natasha Carrasco Ortiz

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por brindarme la oportunidad de realizar este importante trabajo de investigación. Agradezco especialmente a mi asesor M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje, cuya orientación experta y apoyo constante han sido fundamentales en cada etapa de este proceso. También quiero reconocer el invaluable colaboración de mis amigos, colegas, cuyo intercambio de ideas y apoyo mutuo han enriquecido significativamente este proyecto. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser parte fundamental de este camino académico.

Sue Natasha Carrasco Ortiz

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph. D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

DR. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

DRA. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

Vicerrectora de investigación

Ph. D. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Dosificación
óptima de sulfato de Aluminio para mejorar la calidad
del agua para consumo humano Bagua - Amazonas ;
del egresado Sue Natasha Carrasco Ortiz
de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental .
de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 30 de octubre de 2024


Firma y nombre completo del Asesor
Mc.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



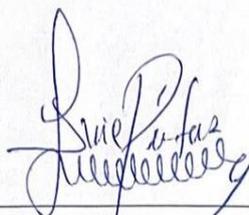
M.Sc Julio Mariano Chavez Milla

Presidente



M. Sc. Gino Alfredo VERGARA MEDINA

Secretario



Mg. Damaris Leyya Tafur

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Dosificación Óptima del Sulfato de Aluminio para mejorar la calidad del agua para consumo humano Bagua - Amazonas

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Sue Natasha Carrasco Ortiz
de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental,

con correo electrónico institucional natasha.calg@gmail.com

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 19 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 30 de Octubre del 2024

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

REPORTE DE TURNITIN

DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO BAGUA, AMAZONAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	7%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Científica del Sur Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	1%
8	dspace.ucuenca.edu.ec	

JULIO MARIANO CHAVEZ MILLA



PRESIDENTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 21 de noviembre del año 2024, siendo las 17:30 horas, el aspirante: Carrasco Ortiz Sue Natasha, asesorado por M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia () la Tesis titulada: Dosificación Óptima de Sulfato de Aluminio para mejorar la calidad de agua para consumo humano Bagua, Amazonas, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: M.Sc. Julio Mariano Chávez Milla

Secretario: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Vocal: Mg. Damaris Leiva Tafur

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) por Unanimidad (X)/Mayoría ()

Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 18:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	v
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	vi
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	vii
REPORTE DE TURNITIN	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS	18
2.1 Área de estudio	18
2.2 Datos meteorológicos.....	19
2.3 Planta de tratamiento.....	19
2.4 Límites máximos permisibles	20
2.5 Población, muestra y muestreo	20
2.6 Diseño de la investigación	22
2.7 Procedimiento metodológico	22
2.7.1. Colecta de muestras	23
2.7.2. Evaluación de parámetros iniciales	24
2.7.3. Pretratamiento	24

2.7.4. Coagulación y decantación	24
2.7.5. Evaluación de parámetros finales.....	26
2.8. Análisis de datos	27
III. RESULTADOS	29
3.1. Identificar el nivel de turbidez del agua para consumo humano de Bagua	29
3.2. Aplicar dosis adecuada de sulfato de aluminio.....	29
3.3. Evaluar los parámetros del agua dosificada con sulfato de aluminio	30
3.4. Proponer mejoras en el tratamiento para mejorar la calidad del agua	35
IV. DISCUSIÓN	36
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. RECOMENDACIONES.....	41
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	48

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos meteorológicos promedios mensuales de Bagua.....	19
Tabla 2. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica.....	20
Tabla 3. Número de muestras para ensayos.....	21
Tabla 4. Pruebas de normalidad.....	27
Tabla 5. Pruebas de homogeneidad de varianzas.....	28
Tabla 6. Número de muestras según fechas.....	29
Tabla 7. Nivel de turbidez (UNT) de las muestras de agua según dosis y fecha.....	30
Tabla 8. Kruskal-Wallis de la turbidez de agua.....	31
Tabla 9. Pares ajustados con Bonferroni de la turbidez de agua.....	31
Tabla 10. pH de las muestras de agua según dosis y fecha.....	32
Tabla 11. ANOVA del pH del agua.....	33
Tabla 12. HSD Tukey del pH del agua.....	33
Tabla 13. Aluminio residual de las muestras de agua según dosis y fecha.....	33
Tabla 14. ANOVA del aluminio residual del agua.....	34
Tabla 15. HSD Tukey del aluminio residual del agua.....	35
Tabla 16. Puntuación de las dosis según sus resultados.....	35

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de Bagua	18
Figura 2. Planta de tratamiento de agua potable de Bagua.....	20
Figura 3. Procedimientos de la investigación.....	22
Figura 4. Esquema de etapas de tratamiento de agua para consumo.	25
Figura 5. Nivel de turbidez (UNT) de las muestras de agua.	29
Figura 6. Nivel de turbidez (UNT) de las muestras de agua según dosis.....	30
Figura 7. pH de las muestras de agua según dosis.....	32
Figura 8. Aluminio residual de las muestras de agua según dosis.....	34
Figura 9. Toma de muestras en diferentes ubicaciones.	60
Figura 10. Muestras de agua etiquetadas.....	60
Figura 11. Medición del pH de las muestras.	61
Figura 12. Medición del aluminio residual de las muestras.....	61

Resumen

Es importante identificar la dosis óptima de coagulante para tratar el agua, asegurando su calidad organoléptica para consumo humano. En Bagua se observa que la calidad del agua no es la adecuada y que es turbia, razón por la cual el estudio se plantea como objetivo general determinar la dosificación óptima de sulfato de aluminio para mejorar la calidad del agua para consumo humano, Bagua, Amazonas. Por medio de un estudio experimental, cuantitativa-explicativa se tomaron 16 muestras de agua para consumo de diferentes viviendas en Bagua, a los cuales se les aplicó dosis de 0, 15, 20 y 25 ppm de sulfato de aluminio para mejorar su calidad organoléptica, obteniendo como resultado para la dosis de 20 ppm que la turbidez disminuye de 6.3 a 4.05 NTU, el pH de 8.2935 a 7.217 y el aluminio residual de 0.2925 a 0.195, mientras que las dosis de 15 ppm no logra mejorar lo suficiente la calidad y la de 25 ppm empeora los parámetros. Por tanto, se concluye que la dosificación óptima de sulfato de aluminio para mejorar la calidad del agua para consumo humano en Bagua es de 20ppm, cuidando los procesos de coagulación-floculación, mezclado y filtrado a fin de tener los resultados esperados.

Palabras clave: calidad organoléptica, turbidez, pH, aluminio residual, parámetros, límites máximos permitidos.

Abstract

It is important to identify the optimal dose of coagulant to treat water, ensuring the organoleptic quality of water for human consumption. In Bagua it is observed that the quality is not adequate and that it is cloudy, which is why the general objective of the study is to determine the optimal dosage of aluminum sulfate to improve the quality of water for human consumption, Bagua, Amazonas. Through an experimental, quantitative-explanatory study, 16 samples of water for consumption were taken from different houses in Bagua, to which doses of 0, 15, 20 and 25 ppm of aluminum sulfate were applied to improve their organoleptic quality. obtaining as a result for the dose of 20 ppm that the turbidity decreases from 6.3 to 4.05 NTU, the pH from 8.2935 to 7.217 and the residual aluminum from 0.2925 to 0.195, while the doses of 15 ppm do not sufficiently improve the quality and 25 ppm worsens the parameters. Therefore, it is concluded that the optimal dosage of aluminum sulfate to improve the quality of water for human consumption in Bagua is 20ppm, taking care of the coagulation-flocculation, mixing and filtering processes in order to have the expected results.

Key words: organoleptic quality, turbidity, pH, residual aluminum, parameters, maximum permitted limits.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital, sin embargo, garantizar su calidad es un reto mundial. La ONU (Naciones Unidas, 2024) señala que el acceso a agua limpia es fundamental y es un Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, asegurando la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. A nivel internacional, muchas fuentes de agua están contaminadas debido a actividades industriales, agrícolas y el mal manejo de residuos. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2023), en 2022 al menos 1,700 millones de personas consumieron agua contaminada provocando más de 505,000 muertes anuales por enfermedades diarreicas. Este contexto resalta la necesidad de mejorar los tratamientos de agua para garantizar su seguridad.

En Perú, esta problemática se ve reflejada de manera crítica. Según la ONU (2022), más de 10 millones de habitantes consumen agua con tóxicos, en gran parte por la contaminación minera y agrícola. La SUNASS (2022) señala que solo el 70.4% del agua urbana recibe tratamiento adecuado dejando a gran parte de la población expuesta a agua sin tratar. Este déficit pone en riesgo la salud de las generaciones futuras, lo que subraya la necesidad urgente de mejorar las políticas y procesos de saneamiento.

Entre los métodos más eficaces para tratar el agua está la coagulación con sulfato de aluminio, coagulante que remueve partículas suspendidas, turbidez y microorganismos patógenos (Olano et al., 2023); sin embargo, la dosificación correcta es fundamental, ya que una subdosificación no eliminaría los contaminantes y la sobredosificación introduce residuos de aluminio en el agua que, al acumularse en el organismo, puede causar Alzheimer (He et al., 2022), afectar la absorción de minerales esenciales o afectar el sistema reproductivo (Yuang et al., 2022). Por tanto, es crucial que sus niveles en el agua potable se mantengan dentro de los límites establecidos para proteger la salud pública.

En Bagua, Amazonas, el problema de la calidad del agua es evidente, con estudios como el de Hoyos y Gamarra (2020), que demuestran que más del 50% de las muestras de agua no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP). La SUNASS (2021) ha advertido sobre la necesidad de mejorar los tratamientos en la ciudad, ya que los sistemas actuales no garantizan agua segura para el consumo humano. Con todo esto, se buscó responder a la pregunta: ¿Cuál es la dosificación óptima de sulfato de aluminio para mejorar la calidad del agua en Bagua, Amazonas? siendo importante para lograr reducir contaminantes y mejorar la calidad del agua, beneficiando directamente la salud de la comunidad y ofreciendo una guía para mejorar el tratamiento de agua en otras regiones.

Ogbozige y Nwobu (2021) compararon el sulfato de aluminio con coagulantes naturales, destacando que, aunque el sulfato es más eficaz en reducir la turbidez del agua (de 11.183 a 0.007 NTU a 100mg/L), también disminuye el pH a niveles no recomendados. Pastrana et al. (2023) obtuvo mejores resultados agregando coagulantes naturales como *C. longirostrata*, reduciendo la turbidez de 47.4 a 9.4 NTU. Por su lado, Mensah-Akutteh et al. (2022) concluyeron que dosis de sulfato de aluminio de 90mg/L son eficaces en reducir la turbidez hasta un 83.7 % logrando solo 2.3 NTU. Otros estudios, como los de Krupinska (2020) advierten sobre los efectos tóxicos del aluminio residual y la sobredosis de coagulantes, encontrando en promedio 0.55 mg/L de aluminio a las muestras tratadas, mientras que Noriega (2021) mostró que el Policloruro de Aluminio también es efectivo. En Perú, Huamán et al. (2020) mostraron que el agua de Huancavelica disminuye su turbidez promedio de 17.25 a 2.86 NTU y pH de 7.98 a 7.35 con una dosis de 20.74 ppm de sulfato de aluminio. Ynofuente et al. (2022) en Puno identificó que para una muestra de 40 UNT con un pH de 7.16, una dosis de 35 mg/L logra llegar a 2.36 UNT. Velasquez (2021) resaltó que para el rango de 0 a 18 UNT se recomienda dosis de 23 a 44 mg/L. Finalmente, Cerna (2020) en Huánuco, encontró que para turbidez inicial de 45.65 UNT, se recomienda dosis de 2.5 mg/L de sulfato, logrando un pH de 9 con un porcentaje de remoción de 98%, también recomienda la dosis de 6mg/L, que logran un pH 10 con 96% de remoción.

En Bagua, Hoyos y Gamarra (2020) analizaron la calidad del agua y encontraron que el 85.45% de las muestras no cumplían con los parámetros de pH, mientras que el 54.55% no tenía cloro residual. Ruiz (2020) encontró muestras desde 5.67 UNT a 27.3 UNT, confirmando que el agua en la región es turbia y Guevara (2019) confirmó que el sulfato de aluminio (40ppm) es eficaz en la clarificación del agua de una quebrada en Bagua, logrando un 74.7% de remoción de turbidez, de 83 a 20 NTU.

Con todo esto, se planteó como objetivo general determinar la dosificación óptima de sulfato de aluminio para mejorar la calidad del agua para consumo humano, Bagua, Amazonas, a través de los objetivos específicos: identificar el nivel de turbidez del agua para consumo humano de Bagua, Amazonas, aplicar dosis adecuada de sulfato de aluminio al agua para consumo humano de Bagua, Amazonas, evaluar que los parámetros del agua dosificada con sulfato de aluminio cumplan con los estándares de calidad del agua para consumo de Bagua, Amazonas y proponer mejoras en el tratamiento para mejorar la calidad del agua para consumo humano de Bagua, Amazonas.

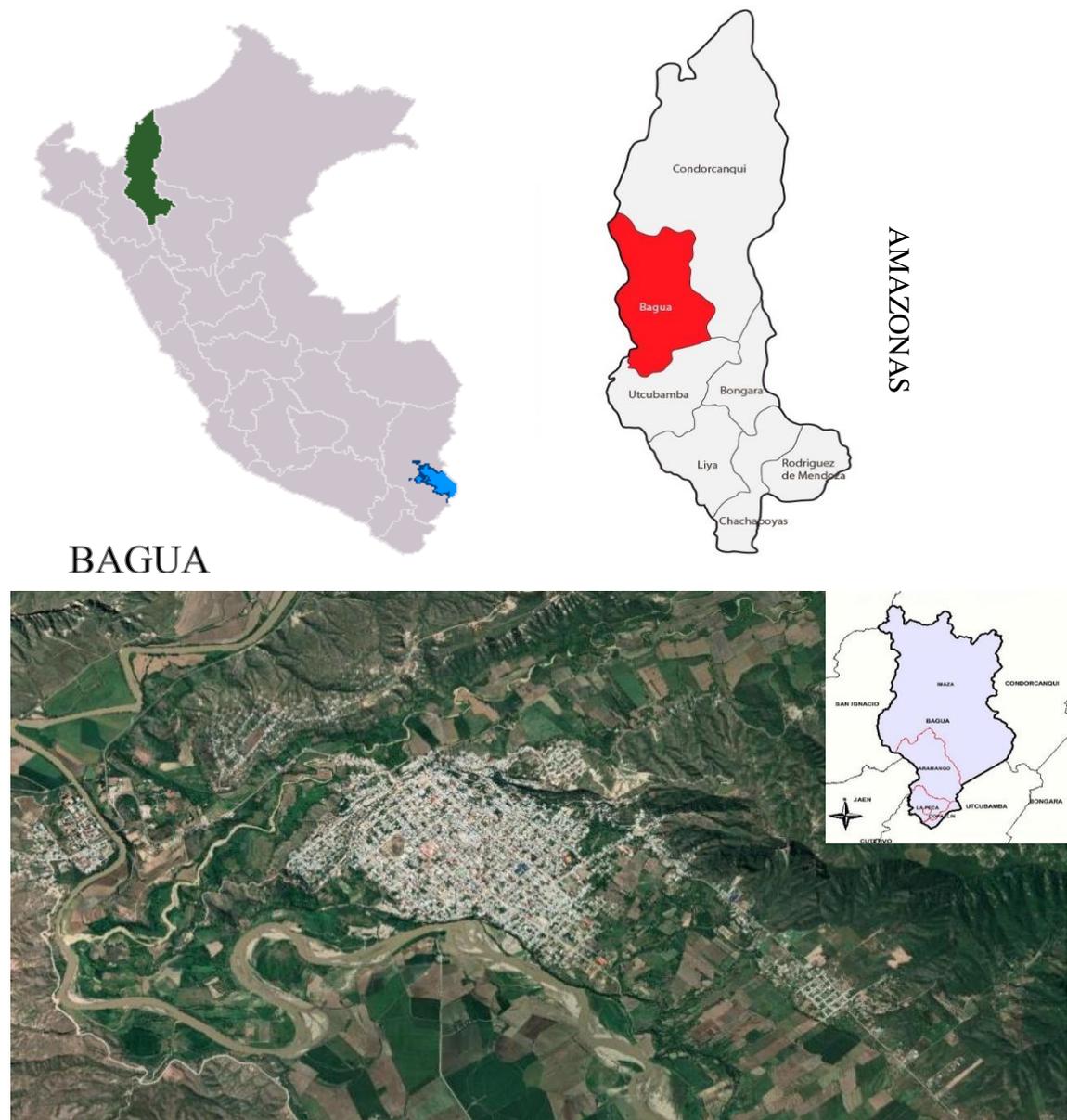
II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

Las muestras de agua tomadas fueron de la ciudad de Bagua, coloquialmente llamado Bagua Capital, Distrito de Bagua, Provincia de Bagua, Región Amazonas, a 420 msnm.

Figura 1.

Ubicación de Bagua



Área de influencia directa: La ciudad de Bagua con una población de 24,224 habitantes (INEI, 2023).

Área de influencia indirecta: Distrito de Bagua, con una superficie de 150.99 km² y una población de 27,102 habitantes (INEI, 2023).

2.2 Datos meteorológicos

Se detallan los datos meteorológicos de Bagua según SENAMHI (2024) en los meses próximos que se tomó las muestras, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 1.

Datos meteorológicos promedios mensuales de Bagua

Mes	Temperatura		Humedad relativa (%)	Precipitación	
	máxima (°C)	mínim a (°C)		Máxima (mm/día)	Promedio (mm/día)
Febrero-24	40.6	21.0	74.13	30.1	1.79
Marzo-24	38.6	21.2	76.90	29.0	2.93
Abril-24	36.8	21.6	75.41	5.4	0.85
Mayo-24	36.4	22.2	77.00	8.8	0.79

Fuente: SENAMHI (2024)

Se observa que en los meses de la investigación: marzo y abril, se tienen temperaturas máximas y mínimas similares, con humedad también similar. No obstante, en marzo se tuvo más precipitaciones, con un promedio de 2.93 mm/día y un máximo de 29 mm/día; en cambio en abril, las lluvias cesaron, solo teniendo un promedio de 0.85 mm/día con un máximo de 5.4 mm/día. Esto es importante pues los meses con mayor precipitación, como marzo, pueden tener agua que arrastra más sedimentos, minerales y otros contaminantes desde la superficie y las tuberías, lo que aumenta su turbidez, requiriendo una mayor dosis de coagulantes para clarificar el agua y asegurar que cumpla con los estándares de calidad.

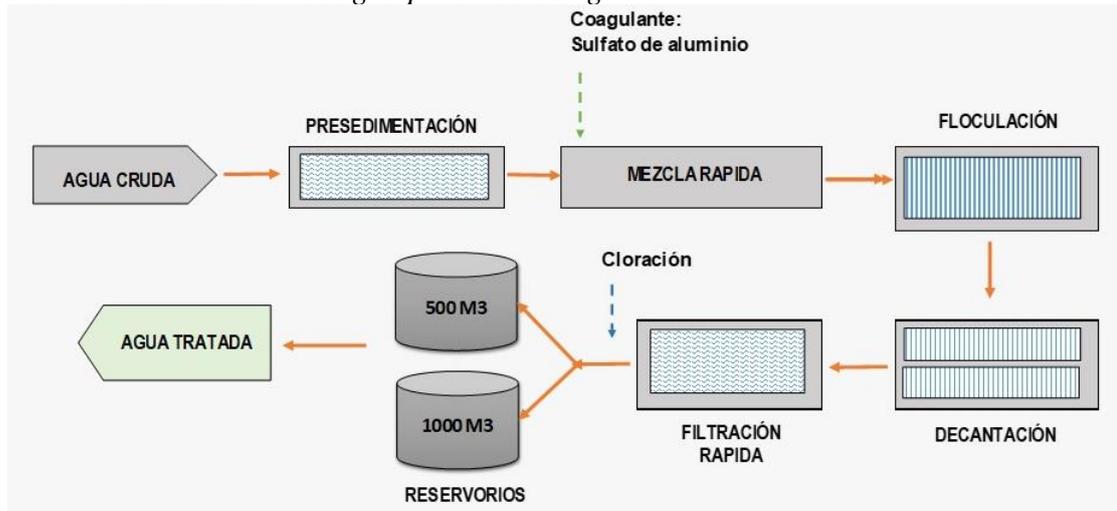
En contraste, durante los meses más secos, la menor cantidad de lluvia reduce el arrastre de sedimentos, lo que resulta en agua más limpia pero también con mayor concentración de otros contaminantes. Además, el aumento de las temperaturas podría favorecer la proliferación de microorganismos en el agua, afectando su calidad bacteriológica. Por tanto, los parámetros de tratamiento deben ajustarse a las condiciones meteorológicas para asegurar que el agua sea segura para el consumo humano en todo momento.

2.3 Planta de tratamiento

En Bagua, el agua proviene de la quebrada “Amojao” y “Brujopata” y son sometidas a tratamiento básico de potabilización en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del Sector César Vallejo de EMAPAB. Se cuenta con un caudal de 120 L/segundo y su infraestructura se compone de sistemas de captación, sedimentación, floculación, decantación, filtración y almacenaje, siendo necesaria la aplicación de sulfato de aluminio como coagulante para remover sólidos suspendidos y disminuir la turbidez antes de que el agua sea distribuida.

Figura 2.

Planta de tratamiento de agua potable de Bagua



Fuente: Elaboración propia

Se utiliza regularmente una dosis de 15 mg/L de coagulante, aunque durante los periodos de lluvia, cuando la turbidez es más alta debido al arrastre de sedimentos, la dosis de sulfato puede incrementarse; pero, aun así, el agua sigue mostrándose turbia y diversos estudios respaldan que este proceso no se está desarrollando correctamente.

Finalmente, la planta no realiza controles periódicos de la calidad del agua por lo que no se tiene conocimiento del control de los parámetros de turbidez o pH, lo que explica por qué la calidad del agua no está garantizada en esta ciudad.

2.4 Límites máximos permisibles

Las evaluaciones se basan en 3 parámetros de calidad organoléptica del agua, estos basados en los límites establecidos por el Ministerio de Salud (2011) peruano según el DS N° 031-2010-SA, los cuales son:

Tabla 2.

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite Máximo Permisible (LMP)
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Aluminio residual	ppm	0.2

Fuente: MINSA (2011), DS N° 031-2010-SA

2.5 Población, muestra y muestreo

2.3.1. Población

La población fue el agua que llega a los hogares de la ciudad de Bagua que cuenta con 24,224 habitantes distribuidos en 9,180 viviendas (INEI, 2023).

2.3.2. Muestra

Se tomó una muestra de agua en botellas plásticas de 300ml de 16 viviendas de pobladores de Bagua en función de la disponibilidad de las viviendas durante las fechas programadas para la recolección. A las muestras se les aplicó diferentes dosis de Sulfato de aluminio buscando la dosis óptima, como indica la tabla 3:

Tabla 3.
Número de muestras para ensayos

Dosis	Sulfato de aluminio	Repeticiones	
		Marzo	Abril
D0	0ppm	2	2
Dosis 1: D1	15ppm	2	2
Dosis 2: D2	20ppm	2	2
Dosis 3: D3	25ppm	2	2
	Total		16

2.3.3. Muestreo

El muestreo fue aleatorio no probabilístico a conveniencia del autor, pues se tomaron en cuenta las muestras recopiladas en las fechas programadas, siendo analizadas en laboratorio siempre que cumplan los siguientes criterios.

Criterios de inclusión:

- Que sean muestras de agua tomadas adecuadamente de una vivienda de Bagua.
- Que la dosis de tratamiento sea aplicada correctamente.
- Que tenga documentada su procedencia, historia y calidad inicial.

Criterios de exclusión:

- Que se identifique algún contaminante químico peligroso en el agua.
- Que la muestra de agua ya haya pasado por algún tratamiento.
- Que la muestra sea de agua estancada.

Se reconoce que la proximidad o lejanía de las viviendas con respecto a la planta de tratamiento de agua podría influir en la calidad del agua recolectada. Las viviendas más cercanas a la planta podrían recibir agua con menor tiempo de exposición a posibles contaminantes en las tuberías, mientras que las viviendas más alejadas podrían tener una mayor probabilidad de recibir agua con mayor turbidez o sedimentos. Para mitigar este sesgo, se tomaron muestras de diferentes puntos de la ciudad para asegurar una representación más equilibrada y variada de la calidad del agua en toda Bagua.

2.6 Diseño de la investigación

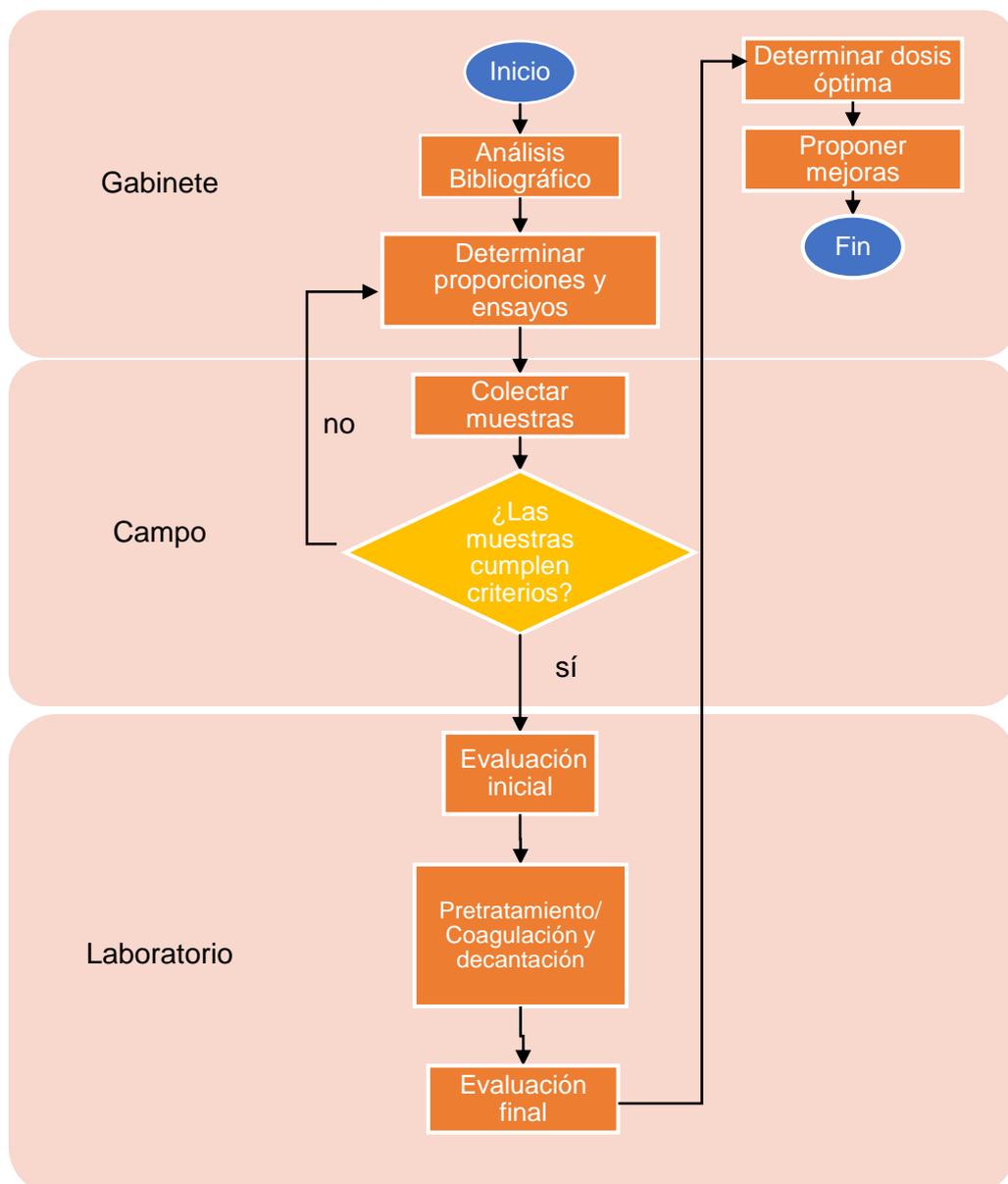
Según lo señalado por Hernández y Mendoza (2018), la presente investigación fue experimental al manipular las variables para obtener una realidad diferente, en este caso se busca la dosis óptima de sulfato de aluminio para mejorar la calidad del agua .

Además, se considera cuantitativa-explicativa porque se trabajó con datos numéricos que expliquen las variables, en este caso los valores de pH, turbiedad y aluminio residual se controlaron al aplicar el sulfato de aluminio.

2.7 Procedimiento metodológico

Se realizó el procedimiento de la figura 3, para el desarrollo de la investigación:

Figura 3.
Procedimientos de la investigación.



A través del análisis bibliográfico se determinaron las proporciones y ensayos para evaluar la calidad de agua para consumo humano, para lo cual se siguió los siguientes pasos:

2.7.1. Colecta de muestras

En esta investigación se recolectaron un total de 16 muestras de agua, cada una de 300 ml, obtenidas de diferentes viviendas de la ciudad de Bagua, Amazonas; una muestra en cada vivienda.

Las viviendas fueron seleccionadas mediante un muestreo aleatorio no probabilístico por conveniencia, en el cual se eligieron hogares de distintas zonas de la ciudad al azar, asegurando que cada vivienda tuviera la misma probabilidad de ser seleccionada, sin preferencias de ubicación geográfica o características socioeconómicas pero que estén disponibles el día de la recolección de datos (Instituto de Salud Pública, 2023).

El proceso de recolección de muestras siguió las directrices establecidas por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2016) en la Norma Técnica Peruana NTP 214.005:1987, que especifica los métodos de muestreo para garantizar que el agua recolectada sea representativa y no contaminada. En base a esto se siguieron los pasos a continuación:

- Preparación del personal: Antes de recolectar las muestras, la persona encargada limpió sus manos adecuadamente y utilizó guantes de látex estériles para evitar la contaminación de las muestras.
- Enjuague de botellas: Las botellas de plástico de 300 ml destinadas a la recolección fueron previamente enjuagadas con el agua de la misma vivienda donde se tomaría la muestra para eliminar cualquier residuo o contaminación externa.
- Recolección del agua: Se procedió a llenar las botellas cuidadosamente con el agua de cada vivienda, asegurando que no hubiera derrames o introducción de partículas externas en las muestras.
- Etiquetado y registro: Cada botella fue etiquetada con un número de muestra, junto con los datos del dueño de la vivienda (nombre, dirección y teléfono). Paralelamente, se registró en una base de datos la fecha de recolección y la ubicación específica de cada muestra.

2.7.2. Evaluación de parámetros iniciales

En un laboratorio privado se realizaron las mediciones, según las pruebas y procedimientos considerados, evaluando la turbidez, pH y aluminio residual. Se usaron los equipos con certificados de calibración, según la prueba, para asegurar datos precisos y adecuados para un análisis detallado y siguiendo las pautas de seguridad y protocolos adecuados, según se menciona en los siguientes puntos.

2.7.3. Pretratamiento

El pretratamiento de las muestras de agua recolectadas se llevó a cabo en el laboratorio siguiendo un protocolo diseñado para garantizar la precisión y representatividad de los análisis posteriores, todo basado en lo publicado por la International Organization for Standardization (2024): ISO 5667-3:2024: Calidad del agua — Muestreo: Conservación y manipulación de las muestras de agua, que proporciona directrices actualizadas para la preservación y manejo de muestras de agua, asegurando la validez de los análisis, así como el Manual de Análisis de Agua publicado por HACH (2013), manual que ofrece procedimientos detallados para el análisis de agua, incluyendo técnicas de pretratamiento y manejo de muestras.

Las etapas del pretratamiento fueron las siguientes:

- Recepción y registro de muestras: A la llegada al laboratorio, cada muestra fue verificada y registrada en una base de datos, asignándole un código único para asegurar su trazabilidad durante todo el proceso.
- Inspección visual: Se realizó una inspección visual de cada muestra para identificar la presencia de sólidos en suspensión, sedimentos u otras partículas que pudieran influir en los resultados analíticos.
- Filtración: Las muestras que contenían partículas visibles fueron sometidas a un proceso de filtración utilizando filtros de membrana con un tamaño de poro adecuado (generalmente 0,45 micras) para eliminar sólidos en suspensión y obtener un filtrado claro.

2.7.4. Coagulación y decantación

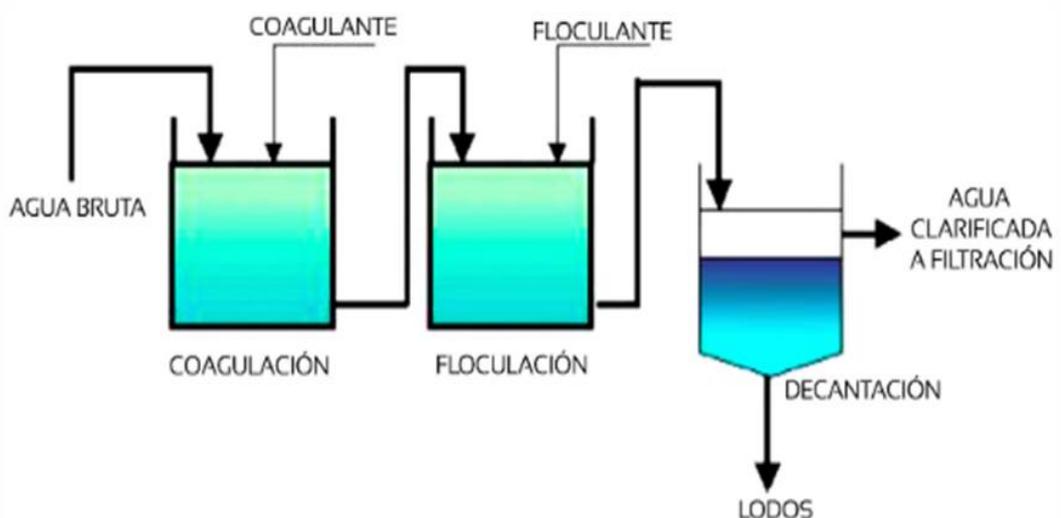
De la misma forma, en base a la ISO 5667-3:2024, el manual HACH y a manuales de operaciones de planta de tratamiento de agua potable elaborados por Empresas Municipales De Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA), como el de EMAPA

Huancavelica (2017) y de la Municipalidad Distrital de Tournavista (2014), Huánuco, se procedió con los siguientes pasos:

- Se añadieron las dosis programadas de 15, 20 y 25 ppm (ver tabla 3) de sulfato de aluminio seguido de una agitación suave durante 2 minutos, utilizando un agitador mecánico de baja velocidad (entre 20 y 30 rpm), para garantizar una distribución uniforme del coagulante sin romper los flóculos formados.
- Coagulación y Floculación: El sulfato de aluminio, al disolverse en el agua, actuó como un coagulante, causando la formación de flóculos que aglutinaron las partículas suspendidas. Durante esta etapa, se ajustó el pH de cada muestra a un valor óptimo entre 6.5 y 7.5. Se permitió que las muestras reposaran durante 30 minutos, tiempo suficiente para que los flóculos se agruparen y comenzaran a sedimentar.
- Decantación o Sedimentación: Posteriormente, las muestras fueron transferidas a tanques de decantación o sedimentadores, donde se dejó que los flóculos sedimentaran en el fondo del tanque debido a la acción de la gravedad. Este proceso de sedimentación se llevó a cabo durante un periodo de 24 horas. Al finalizar este tiempo, se retiró cuidadosamente el agua clarificada de la parte superior del tanque, utilizando un sifón, evitando remover el sedimento que se acumuló en el fondo.

Figura 4.

Esquema de etapas de tratamiento de agua para consumo.



Fuente: Fibras y Normas de Colombia SAS (2021)

2.7.5. Evaluación de parámetros finales

En el mismo laboratorio se midió la turbidez, pH y aluminio residual del agua tratada, siguiendo los procedimientos establecidos:

Evaluación de la turbidez del agua.

La turbidez se midió en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nefelometric Turbidity Unit (NTU). Cuantifica la claridad óptica de un líquido al medir la cantidad de luz dispersada por partículas suspendidas en el agua. Cuanto mayor sea la turbidez, mayor será la cantidad de partículas en suspensión y más dispersión de luz ocurrirá, lo que resultará en un valor más alto en NTU. Por otro lado, una baja turbidez indicará que hay menos partículas suspendidas y menos dispersión de luz, lo que se reflejará en un valor bajo (Shi, Ma, & Zhang, 2022).

Para evaluar la turbidez se usó un turbidímetro Hach 2100Q, dispositivo ampliamente reconocido por su precisión y confiabilidad. Tiene una precisión de $\pm 2\%$ de la lectura más 0.01 NTU en el rango de 0 a 1000 NTU y está diseñado para cuantificar la cantidad de partículas suspendidas en un líquido.

Evaluación del pH

El pH mide la concentración de iones H^+ encontrados en el agua mediante el uso de electrodo del potenciómetro, en este caso un modelo Lab 850 con resolución máxima: 0,001 pH; -1999 a + 1999 mv. La calibración del pH se realizó con una solución buffer del pH 4 y 10. Para ello, se colocó el bulbo del potenciómetro al agua, primero combinándolo con el líquido buffer 10 y luego enjuagándolo con agua destilada. Finalmente se procedió a la lectura del pH.

Evaluación del aluminio residual.

Se midió el aluminio residual con el instrumento LaMotte-Aluminium Octa Slide 2, que puede detectar concentraciones de aluminio en el rango de 0 a 1.0 mg/L, con incrementos de lectura de 0.2 mg/L. Es decir, la precisión del instrumento puede estimarse en ± 0.2 mg/L, dependiendo del nivel de exactitud visual al comparar el color de la muestra con la escala incluida en el kit.

Se agregó los reactivos a la muestra de agua en la plataforma de prueba (slide). Los reactivos reaccionaron con el aluminio presente en la muestra y produjeron un cambio de color, para después proceder a comparar el color con la escala de colores

proporcionada en el kit. Una vez se identificó el valor de la escala, se interpretó la concentración de aluminio en la muestra.

2.8 Análisis de datos

En el software libre IBM SPSS Statistics 23 se trataron los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio. Primero se analizaron los estadísticos descriptivos de la calidad del agua (turbidez, pH y aluminio residual), identificando si los resultados, tanto individuales como los promedios, superan o no el LMP.

Después se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk al tener solo 16 muestras, esto para saber si los datos tienen una distribución normal y decidir qué estadístico usar para comparar las medias.

Tabla 4.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Turbiedad	,203	16	,078	,865	16	,023
pH	,145	16	,200*	,964	16	,734
Alum. Res.	,146	16	,200*	,928	16	,229

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Se observa en la tabla 4 que la turbiedad tiene un p-valor menor a 0.05, por lo que no tiene una distribución normal, mientras que el pH y el aluminio residual tienen un p-valor mayor a 0.05, por lo que sus datos siguen una distribución normal. Con esto se propone usar para la turbiedad la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, mientras que para el pH y el aluminio residual se propone usar pruebas paramétricas según su homogeneidad.

Para completar el análisis, se aplica el estadístico de Levene para verificar la homogeneidad de varianzas y determinar si para los datos con distribución normal se debe continuar con la prueba ANOVA o la prueba de Welch.

Tabla 5.
Pruebas de homogeneidad de varianzas

		Estadístico			
		de Levene	gl1	gl2	Sig.
Turbiedad	Se basa en la media	2,722	3	12	,091
	Se basa en la mediana	2,202	3	12	,141
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,202	3	7,645	,169
	Se basa en la media recortada	2,714	3	12	,091
pH	Se basa en la media	2,494	3	12	,110
	Se basa en la mediana	2,071	3	12	,158
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,071	3	5,099	,221
	Se basa en la media recortada	2,488	3	12	,110
Aluminio residual	Se basa en la media	2,423	3	12	,116
	Se basa en la mediana	2,172	3	12	,144
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,172	3	10,960	,149
	Se basa en la media recortada	2,420	3	12	,117

Se observa en la tabla 5 que, según Levene, la turbiedad, pH y aluminio residual tienen una significancia mayor a 0.05, por lo que presentan homogeneidad en sus varianzas. Con estos resultados se confirma que, para el análisis de pH y aluminio residual, se debe utilizar la prueba de ANOVA y la prueba post hoc de Tukey para identificar qué dosis obtuvo mejor resultado. Para la turbiedad, al no tener una distribución normal se utiliza la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba post hoc de pares ajustados con Bonferroni.

Finalmente, después de determinar qué dosis obtuvieron mejores resultados, se dio puntuaciones del 0 al 3, según su posición. En otras palabras, a las dosis con mejor resultado en cada evaluación se le dio 3 puntos, a la segunda mejor se le dio 2 y así disminuyendo hasta llegar a 0. Al sumar las puntuaciones, se seleccionó la dosis que mejor resultado general obtuvo y se realizaron las recomendaciones para su aplicación.

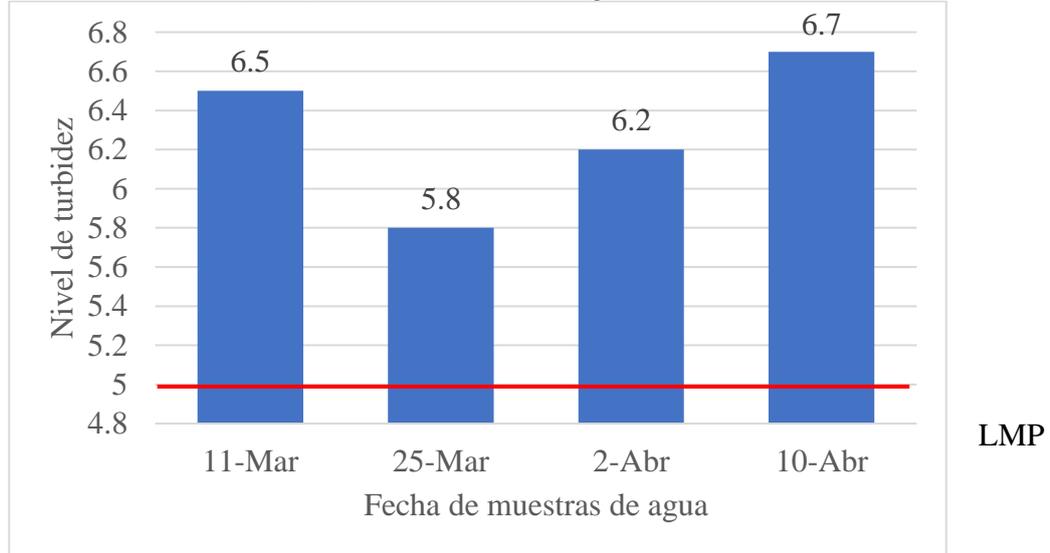
III. RESULTADOS

3.1. Identificar el nivel de turbidez del agua para consumo humano de Bagua

Se asignó 4 fechas para la recolecta de muestras. A una muestra de cada se le realizó la medición de turbidez del agua obteniendo los siguientes resultados:

Figura 5.

Nivel de turbidez (UNT) de las muestras de agua.



Se observa en la figura 5 que el nivel de turbidez de agua, indistintamente de la fecha de la muestra, supera el LMP de 5.

3.2. Aplicar dosis adecuada de sulfato de aluminio

Ante la necesidad de mejorar la calidad del agua, se aplicó la dosis de sulfato de aluminio según diferentes fechas de recolección.

Tabla 6.

Número de muestras según fechas

Dosis	Marzo		Abril		TOTAL
	11/03	25/03	02/04	10/04	
D0	1	1	1	1	4
D1: 15ppm	1	1	1	1	4
D2: 20ppm	1	1	1	1	4
D3: 25ppm	1	1	1	1	4
Total	4	4	4	4	16

En base a esta clasificación se realizó la evaluación de calidad organoléptica y se comparó los resultados.

3.3. Evaluar los parámetros del agua dosificada con sulfato de aluminio

3.3.1. Turbidez de agua

Para hallar la dosis óptima se analiza primero la turbidez de agua a todas las muestras, obteniendo los siguientes resultados:

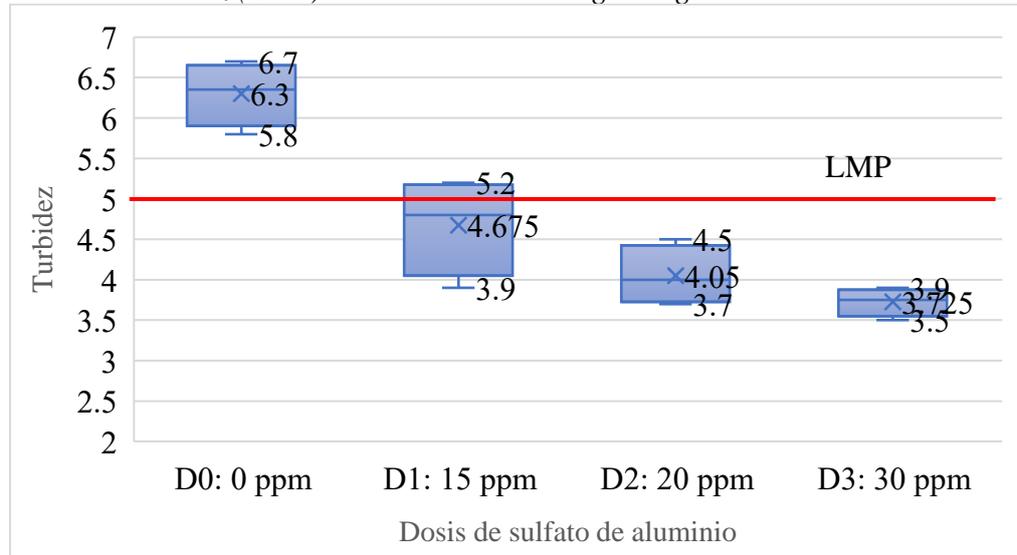
Tabla 7.

Nivel de turbidez (UNT) de las muestras de agua según dosis y fecha

Dosis	Sulfato de aluminio	Turbidez				Promedio
		11/03	25/03	02/04	10/04	
D0	0 ppm	6.5	5.8	6.2	6.7	6.300
D1	15 ppm	4.5	5.2	3.9	5.1	4.675
D2	20 ppm	4.2	3.8	4.5	3.7	4.050
D3	25 ppm	3.8	3.9	3.5	3.7	3.725

Figura 6.

Nivel de turbidez (UNT) de las muestras de agua según dosis



Se observa en la tabla 7 y la figura 6 que el nivel de turbidez de agua disminuye a medida que la dosis de sulfato de aluminio aumenta. Todas las muestras de D0 son superiores al LMP, pero disminuyen hasta una media de 3.725 para D3. Si bien las muestras de D1 tienen un promedio de 4.675, su valor máximo es 5.2 y supera el LMP de 5, mientras que D2 y D3 siempre tienen valores inferiores al LMP. También se observa que, a medida que aumenta la dosis, la variación de resultados dentro de la misma dosis es menor; por ejemplo, en D1 varía de 3.9 a 5.2 (rango de 1.3), mientras que en D2 varía de 3.5 a 3.9 (rango de 0.4). Por tanto, se puede percibir que la dosis óptima para controlar la turbidez es la que tiene mayor cantidad de sulfato de aluminio.

Tabla 8.
Kruskal-Wallis de la turbidez de agua

Turbiedad	
H de Kruskal-Wallis	11,888
Gl	3
Sig. asintótica	,008

Nota: Variable de agrupación: Dosis de sulfato de aluminio

Para verificar si las dosis tienen resultados con diferencias significativas, considerando que no tienen distribución normal, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis. Como se observa en la tabla 8 se tiene una sig. menor a 0.05 por lo que se puede afirmar que los resultados tienen diferencias significativas.

Tabla 9.
Pares ajustados con Bonferroni de la turbidez de agua

Pares de dosis	Estadístico		Desv. Estadístico		Sig.
	de prueba	Desv. Error	de prueba		
D3: 25 ppm- D2: 20 ppm	2,500	3,357	,745		,456
D3: 25 ppm- D1: 15 ppm	6,125	3,357	1,825		,048
D3: 25 ppm- D0: 0 ppm	10,875	3,357	3,240		,001
D2: 20 ppm- D1: 15 ppm	3,625	3,357	1,080		,280
D2: 20 ppm- D0: 0 ppm	8,375	3,357	2,495		,013
D1: 15 ppm- D0: 0 ppm	4,750	3,357	1,415		,157

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de ,05.

En la tabla 9 se observa que hay pares de dosis que no tienen diferencias significativas al tener un p-valor mayor a 0.05. Con el mejor resultado está D3 y D2, seguido de D2 y D1 y finalmente D1 y D0. Por tanto, se afirma que la dosis óptima es la que tiene mayor cantidad de sulfato de aluminio, D3 y D2 con 25 y 20 ppm del coagulante mencionado, asegurando que el agua sea de calidad adecuada para el consumo humano en Bagua.

3.3.2. Potencial de Hidrógeno (pH)

Para hallar la dosis óptima del coagulante, se analiza también el pH de todas las muestras según las dosis aplicadas, obteniendo los siguientes resultados:

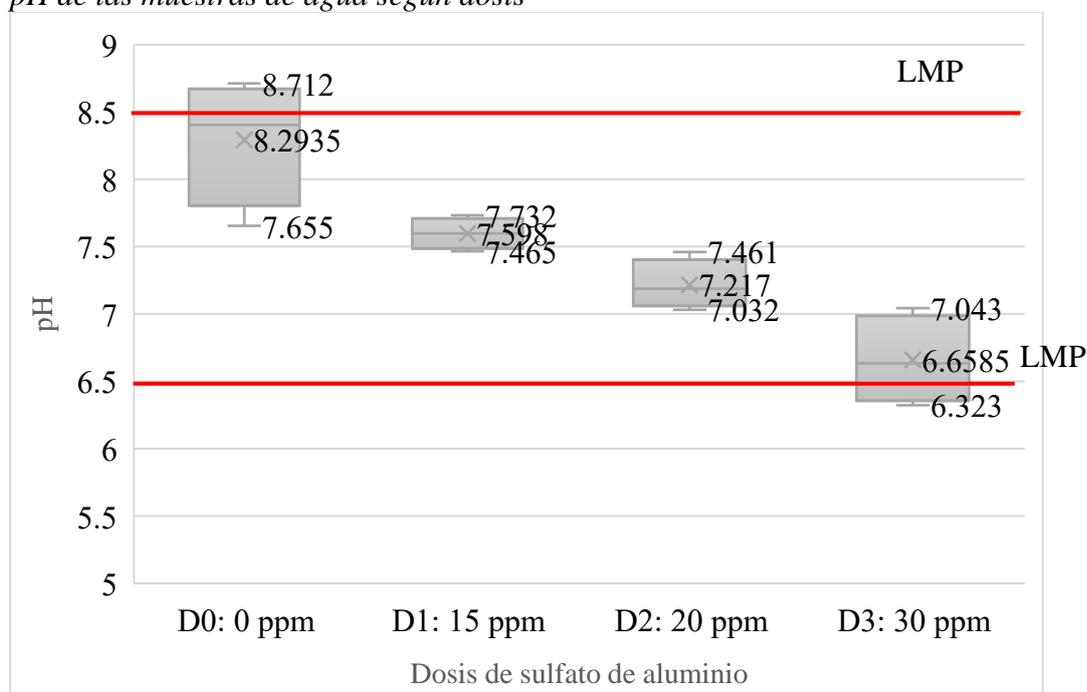
Tabla 10.

pH de las muestras de agua según dosis y fecha

Dosis	Sulfato de aluminio	pH				Promedio
		11/03	25/03	02/04	10/04	
D0	0 ppm	8.712	8.253	8.554	7.655	8.2935
D1	15 ppm	7.465	7.642	7.553	7.732	7.598
D2	20 ppm	7.032	7.141	7.461	7.234	7.217
D3	25 ppm	7.043	6.323	6.815	6.453	6.6585

Figura 7.

pH de las muestras de agua según dosis



Se observa en la tabla 10 y la figura 7 que el nivel de pH disminuye a medida que la dosis de sulfato de aluminio aumenta. Aunque los promedios de las dosis están dentro de los límites permitidos, el valor máximo de D0 y el mínimo de D3 no cumplen con el reglamento. Solo D1 y D2 tiene todos sus resultados dentro de los límites. Cabe resaltar también que D0 y D3 son los que mayor variación de resultados tiene, con rangos de 1.057 y 0.72 respectivamente, a diferencia de D1 y D2 con rangos de 0.267 y 0.429 respectivamente. Entonces, considerando que un pH muy bajo es negativo, se puede afirmar que las dosis óptimas para mantener el pH son las intermedias D1 y D2.

Tabla 11.
ANOVA del pH del agua

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5.656	3	1.885	20.219	0.000
Dentro de grupos	1.119	12	0.093		
Total	6.774	15			

Para verificar si las dosis tienen resultados con diferencias significativas, se realiza el ANOVA. Como se observa en la tabla 11 se tiene una sig. menor a 0.05 por lo que se puede afirmar que los resultados tienen diferencias significativas.

Tabla 12.
HSD Tukey del pH del agua

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
D3	4	6.65850		
D2	4	7.21700	7.21700	
D1	4		7.59800	
D0	4			8.29350
Sig.		0.096	0.335	1.000

En la tabla 12 se observa que las dosis que tuvieron menor pH son D3 y D2, ambas sin diferencias significativas. Luego sigue D1 y D2 y finalmente con mayor pH está D0. Por tanto, se afirma que el tratamiento con sulfato de aluminio disminuye el pH del agua para consumo humano de Bagua, siendo las dosis óptimas D1 y D2 para controlar el pH.

3.3.3. Aluminio residual

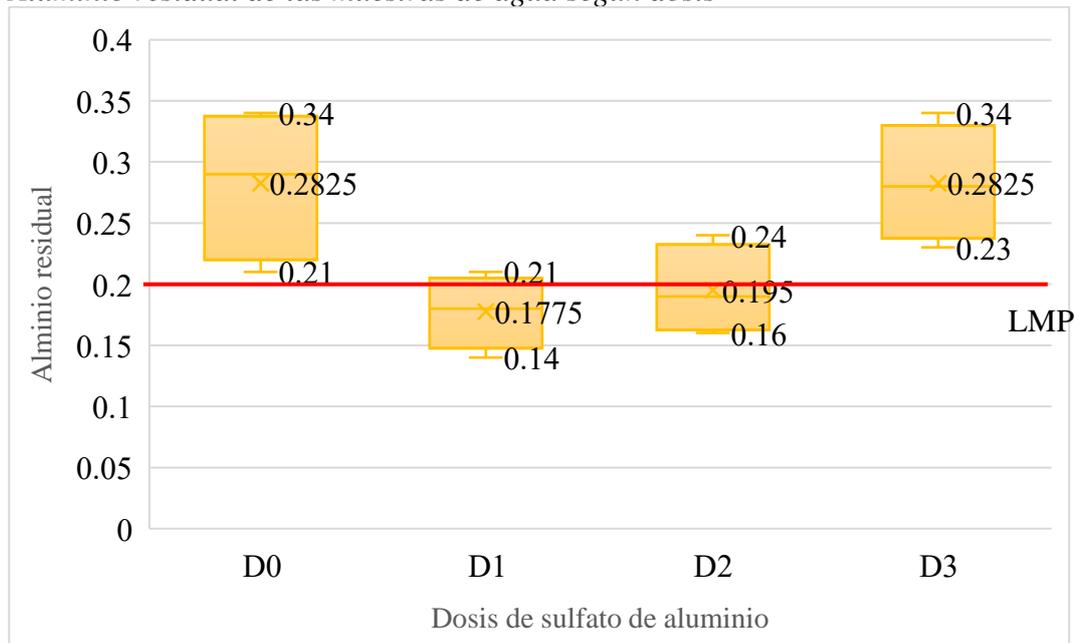
Para hallar la dosis óptima del coagulante se analiza el aluminio residual de todas las muestras según las dosis aplicadas, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13.
Aluminio residual de las muestras de agua según dosis y fecha

Dosis	Sulfato de aluminio	Aluminio residual				Promedio
		11/03	25/03	02/04	10/04	
D0	0 ppm	0.34	0.21	0.25	0.33	0.2825
D1	15 ppm	0.14	0.19	0.21	0.17	0.1775
D2	20 ppm	0.21	0.17	0.16	0.24	0.195
D3	25 ppm	0.3	0.26	0.23	0.34	0.2825

Figura 8.

Aluminio residual de las muestras de agua según dosis



Se observa en la tabla 13 y la figura 8 que el nivel de aluminio residual varía en función de la dosis que se le adiciona. Para D1 baja considerablemente, pero a partir de ahí, mientras mayor dosis de sulfato de aluminio se aplique, mayor es el aluminio residual, incluso D3 tiene resultados muy similares a D0.

Se muestra también que D0 y D3 tienen todas las muestras con aluminio residual por encima del LMP. D1 y D2 tienen los promedios por debajo del LMP, pero los valores máximos de cada dosis sí las supera, por lo que se debería tener otro reproceso para disminuir más este valor. Cabe resaltar que D0 y D3 son los que mayor variación de resultados tiene; por tanto, se puede afirmar nuevamente que las dosis óptimas son las intermedias D1 y D2.

Tabla 14.

ANOVA del aluminio residual del agua

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.038	3	0.013	5.903	0.010
Dentro de grupos	0.026	12	0.002		
Total	0.063	15			

Para verificar si las dosis tienen resultados con diferencias significativas, se realiza el ANOVA. Como se observa en la tabla 14 se tiene una sig. menor a 0.05 por lo que se puede afirmar que los resultados tienen diferencias significativas.

Tabla 15.
HSD Tukey del aluminio residual del agua

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
D1	4	0.1775	
D2	4	0.1950	0.1950
D0	4		0.2825
D3	4		0.2825
Sig.		0.948	0.081

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

En la tabla 15 se observa que las dosis que tuvieron menor aluminio residual son D1 y D2, ambas sin diferencias significativas. Luego sigue D0 y D3 que tienen medias similares. Por tanto, se afirma que el tratamiento con sulfato de aluminio modifica el aluminio residual del agua para consumo humano de Bagua.

3.4. Proponer mejoras en el tratamiento para mejorar la calidad del agua

Finalmente, se determina la dosificación que mejores resultados obtuvo:

Tabla 16.
Puntuación de las dosis según sus resultados

	Turbidez	pH	Aluminio residual	Puntuación final
D0	1	2	2	5
D1	2	3	3	8
D2	3	3	3	9
D3	3	2	2	7

Por tanto, con los resultados de la tabla 16 se determina que la mejor dosificación es la D2 con 9 puntos. Esta dosis cuenta con 20ppm de sulfato de aluminio, por lo que se debe mejorar el tratamiento del agua de Bagua aplicando este compuesto para asegurar que la calidad de este bien tan importante sea la adecuada para el consumo humano, evitando el brote de enfermedades o afecciones a largo plazo en la población.

IV. DISCUSIÓN

Aplicar la dosis óptima de sulfato de aluminio para preservar la calidad de agua es muy importante para proteger la salud de los pobladores y diferentes estudios como los de He et al (2022) o Yuan et al. (2022) demuestran que el mejoramiento del agua mejora significativamente la salud de la población. Esto se vuelve especialmente importante cuando se observa que una población está consumiendo agua turbia, siendo que en Bagua se identificó que la turbidez del agua para consumo humano oscila entre 5.8 a 6.7 UNT, superior a los 5 UNT establecido como LMP por el MINSA. Esta realidad se identifica en diversos estudios, incluso en estudios anteriores en Bagua ya se observa un gran problema con este bien necesario. Hoyos y Gamarra (2020) determinaron que, de 110 muestras, el 20.9% no cumple con la turbidez y el 54.17% tiene un exceso de coliformes totales, poniendo en grave riesgo la salud de los consumidores. Ruiz (2020) encuentra una turbidez de hasta 27.3 UNT y Guevara (2019) de 20 NTU. Todos estos datos nos demuestran la gran necesidad de atender este problema, investigando una dosis óptima de coagulante que mejore la calidad organoléptica del agua.

Debido a esto se aplican diversas concentraciones, en este caso dosis de 15, 20 y 25 ppm de sulfato de aluminio, coagulante muy recomendado para la purificación de agua. Estas dosis suelen aplicarse a agua que ya ha sido tratada para mejorar su calidad y cumplir con los estándares de calidad; de hecho, Velasquez (2021) recomienda que, cuando se tiene agua con un rango de 0 a 18 UNT se debe usar dosis de 20 hasta 50 ppm o mg/L. Esto mismo es aplicado por autores internacionales como Krupinska (2020) aplicando dosis de 1 a 5mg/L, Noriega (2021) de 8 a 15mg/L y autores peruanos como Huamán et al. (2020) que aplica 20ppm, Ynofuente et al. (2022) 35mg/L y Guevara (2019) con 40ppm. No obstante, cuando se analiza agua muy contaminada o que no ha sido tratada de ninguna forma, se requieren de una mayor concentración, como Ogbozige y Nwobu (2021) que debe aplicar de 100 a 600 mg/L para lograr resultados óptimos, Pastrana et al. (2023) aplica de 100 a 300 mg/L y Mensah-Akutteh et al. (2022) de 80 a 110 mg/L, por lo que se debe verificar bien primero el nivel de turbidez y confirmar si el agua ha sido tratada previamente.

Al evaluar la turbidez, de un promedio de 6.3 se logró disminuir hasta 3.725 UNT con 25ppm de sulfato de aluminio, resultados similares a los de Huamán et al. (2020) que con 20.74ppm del mismo coagulante logra 2.86 de 17.25 NTU, Ynofuente et al. (2022) con 35mg/L obtiene 2.36 de 40 NTU, Noriega (2021) con 10mg/L lo disminuye de 45.5 NTU

a 0.67, mientras que, en otras muestras, Mensah-Akutteh et al. (2022) con 110mg/L del coagulante de aluminio, disminuyó de 14.1 a 2.9 NTU.

Otros autores también lograron una disminución efectiva, pero al aplicar altas dosis encuentra que resultados adversos. Pastrana et al. (2023) con 150mg/L de coagulante controló la turbidez de 47.4 a 9.4 UNT, mientras que con 250mg/L disminuyó a 14.47 UNT. Ogbozige y Nwobu (2021) al aplicar 100mg/L de sulfato de aluminio disminuyó la turbidez de 11.183 a 0.007 UNT, en cambio al aplicar mayores dosis como 600mg/L, la turbidez solo bajaba a 2.351 UNT. Como se observa, esto se da con concentraciones muy alta del coagulante, por lo que se puede afirmar que, si bien el sulfato de aluminio ayuda a disminuir la turbidez, cuando se usa en exceso es contraproducente, como se explica más adelante.

El pH inicial es de 8.2935, valor cercano al límite superior, pero al aplicar 15 y 20 ppm llega a 7.598 y 7.217, en cambio si se aplica 25ppm baja hasta 6.6585, valor muy cercano al límite inferior. El aluminio tiende a disminuir el pH por lo que se debe tener un balance adecuado, no mucho para evitar descender más de lo permitido, como Ogbozige y Nwobu (2021) que disminuyeron el pH de 6.7 a 6.2 con 100mg/L, valor muy inferior al aceptado por las autoridades; ni muy poco para no lograr resultados significativos como Noriega (2021) que con 10mg/L solo disminuye de 8.43 a 7.71. Huamán et al. (2020) logra una aplicación eficiente con 20.74ppm controlando el pH de 7.98 a 7.35

Por tanto, es importante evaluar el pH inicial antes de cualquier dosificación, pues se puede dar el caso de Mensah-Akutteh et al. (2022) que, sin adicionar ningún coagulante, el agua tenía un pH de 6, valor por debajo del esperado, y al agregarle coagulante este disminuiría más, por lo que debe buscar otras vías para aumentar el pH, como la adición de productos alcalinizantes como el hidróxido de sodio (NaOH) o el bicarbonato de sodio (NaHCO₃), así como la cal hidratada (Ca(OH)₂) o carbonato de sodio (Na₂CO₃), que son reactivos empleados comúnmente en plantas de tratamiento de agua para corregir la acidez (Kaiquan & Wenbin, 2015).

En cuanto al aluminio residual, es coherente que aumente si se le agrega el coagulante, razón por la que diferentes estudios no miden esta propiedad al no poder cumplir con el estándar. De la misma forma, autores como Hoyos y Gamarra (2020) encuentran que el 54.55% de las muestras no cumplen con el control de los residuos; sin embargo, este problema se puede controlar durante el proceso de filtrado.

Se observa que, al aplicar un correcto proceso de coagulación-floculación, de 0.2825 ppm disminuye a 0.1775 y 0.195 ppm con 15 y 20ppm de sulfato de aluminio, pero cuando se agrega 35ppm, el aluminio residual se mantiene en 0.2825, pues con el proceso de jarras ya no se puede retener más aluminio. Entre los pocos estudios que evalúan esta propiedad está Krupinska (2020) que al aplicar dosis de 5mg/L de aluminio, disminuye de 0.6mg/L a 0.55mg/L los residuos de este compuesto, por lo que se debe evaluar correctamente la concentración inicial para proyectar las dosis.

Con todo esto, se resalta la importancia de contar con una dosis óptima de sulfato de aluminio en el tratamiento del agua para asegurar la calidad y seguridad del agua potable (Gemedá et al., 2021), por lo que se realizó la ponderación de las dosis aplicadas, obteniendo que la mejor dosificación encontrada es la de 20ppm de sulfato de aluminio, lo que permite una eficiente coagulación y floculación de las partículas suspendidas en el agua, reduciendo la turbidez y mejorando la claridad del agua. Esto es esencial para eliminar las impurezas que pueden albergar patógenos y otros contaminantes nocivos para la salud humana. Además, mantener la turbidez dentro de los límites seguros establecidos por las normas de calidad del agua ayuda a proteger a la población de posibles enfermedades transmitidas por el agua (Lin et al., 2022).

Por otro lado, si se escogiera una dosis con más concentración de coagulante, puede resultar en altos niveles de aluminio residual en el agua, lo cual es potencialmente tóxico para el organismo humano. El aluminio residual puede acumularse en el cuerpo y ha sido asociado con problemas neurológicos y otros trastornos de salud (Panda et al., 2024). Por lo tanto, este problema se resuelve realizando un control riguroso de la dosis de coagulante mediante pruebas de jarra y análisis periódicos del aluminio residual en el agua tratada. Además, se pueden aplicar técnicas adicionales de tratamiento, como la filtración con carbón activado o el uso de resinas de intercambio iónico, que ayudan a reducir los niveles de aluminio residual en el agua potable. Otra opción es optar por coagulantes alternativos como el policloruro de aluminio (PAC) o coagulantes naturales, que generan menos residuos de aluminio (Abdo et al., 2020).

En este caso, encontrar y aplicar la dosis óptima garantiza la eficacia del tratamiento del agua y también minimiza los riesgos para la salud asociados con el exceso de aluminio. Esto asegura que el agua tratada sea segura para el consumo humano, cumpliendo con los estándares de salud pública y protegiendo a las comunidades que dependen de este recurso vital, por lo que finalmente se recomienda la D2 con 20 ppm de sulfato de aluminio.

Finalmente, es esencial destacar la importancia del proceso de coagulación-floculación, el cual requiere el sulfato de aluminio en cantidades exactas, por lo que instalar sistemas automáticos de dosificación sería una buena forma de asegurar la calidad del agua (Tahraoui et al., 2024). Estos sistemas deben estar equipados con sensores que midan en tiempo real parámetros clave como pH, turbidez y la concentración de aluminio residual. La información obtenida permitirá ajustes precisos y dinámicos en la dosificación del coagulante, garantizando que se mantenga en el nivel óptimo de 20 ppm sin sobrepasarlo, lo que maximizará la eficiencia del tratamiento y minimizará el riesgo de sub-coagulación o sobre-coagulación.

El sistema de mezclado también puede ser mejorado, pues es crucial asegurar una dispersión homogénea del sulfato de aluminio para formar flóculos eficientemente. Para esto, se pueden implementar agitadores mecánicos o sistemas de inyección de aire. Estos dispositivos mejorarán el contacto entre el coagulante y las partículas suspendidas, favoreciendo una coagulación más efectiva. Un buen mezclado inicial seguido de una fase de mezclado lento permitirá la formación de flóculos más grandes y pesados que se sedimentarán con mayor facilidad en etapas posteriores del tratamiento (El-tawwel et al., 2023).

Por tanto, es fundamental revisar y mejorar los sistemas de filtración. Los filtros deben estar en óptimas condiciones, y el medio filtrante debe ser reemplazado regularmente para mantener su eficacia. Además, la incorporación de filtros de carbón activado puede ser una medida complementaria efectiva, ya que estos filtros no solo ayudan a reducir la turbidez, sino que también eliminan compuestos orgánicos y otros contaminantes que pueden estar presentes en el agua (Razali et al., 2023). Estas mejoras en la filtración asegurarán que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad establecidos, garantizando un suministro seguro y de alta calidad para los habitantes de Bagua.

V. CONCLUSIONES

- La turbidez del agua para consumo humano de Bagua varía de 5.8 a 6.7 UNT, valores por encima de los límites máximos permitidos por el MINSA, por lo que se confirma que la calidad de agua no es la óptima para el consumo humano.
- Las dosis adecuadas de sulfato de aluminio para mejorar la calidad del agua para consumo humano de Bagua son de 20ppm en promedio, razón por la que se aplican dosis de 15, 20 y 25ppm. Para muestras de agua con una turbidez mayor a 18 UNT se requieren dosis superiores.
- Los parámetros del agua dosificada con sulfato de aluminio tienden a disminuir a medida que aumenta la dosificación. La turbidez disminuye de 6.3 (0ppm) a 4.05 (20ppm) y 3.725 (25ppm). El pH disminuye de 8.29 (0ppm) a 7.217 (20ppm) y 6.6585 (25ppm). El aluminio residual disminuye de 0.2825 a 0.195 (20ppm) y 0.1775 (15ppm), cumpliendo con los LMP señalados por el MINSA.
- La dosificación óptima de sulfato de aluminio para mejorar la calidad del agua para consumo humano en Bagua es de 20ppm, cuidando los procesos de coagulación-floculación, mezclado y filtrado a fin de tener los resultados esperados.

VI. RECOMENDACIONES

- Implementar un monitoreo continuo de la turbidez del agua en tiempo real mediante sensores avanzados en las plantas de tratamiento. Este monitoreo permitirá ajustes inmediatos en el proceso de coagulación-floculación y otras etapas del tratamiento para garantizar que la turbidez se mantenga consistentemente por debajo del límite máximo permitido por el MINSA.
- Establecer un protocolo flexible de dosificación de sulfato de aluminio que permita ajustar la dosis según la turbidez inicial del agua. Equipar las plantas de tratamiento con sistemas automáticos de dosificación que puedan variar la cantidad de coagulante aplicado, asegurando una respuesta rápida y adecuada a las fluctuaciones en la turbidez del agua entrante.
- Realizar un seguimiento exhaustivo y documentado de los cambios en los parámetros del agua tratada (turbidez, pH, aluminio residual) a diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio. Esto ayudará a identificar patrones y optimizar aún más el proceso, además de proporcionar datos valiosos para la mejora continua del tratamiento del agua.
- Invertir en la capacitación continua del personal operativo en las plantas de tratamiento sobre las mejores prácticas en coagulación-floculación, mezclado y filtrado. Además, realizar mantenimiento regular y actualizaciones tecnológicas en los equipos utilizados en estos procesos para asegurar su eficiencia y eficacia en la aplicación de la dosis óptima de 20 ppm de sulfato de aluminio.

VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdo, S. M., Mahmoud, R. H., Youssef, M., & El-Naggar, M. E. (2020). Cationic Starch and Polyaluminum Chloride as Coagulants for River Nile Water Treatment. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100331. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100331>
- Cerna Cueva, A. F. (2020). *Optimización de las dosis de alúmina en diferentes valores de ph y turbidez iniciales para la remoción de turbidez en el agua de consumo humano de la Unas*. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Obtenido de https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1732/TS_CCAF_2020.pdf
- El-taweel, R. M., Mohamed, N., Alrefaey, K. A., Husien, S., Abdel-Aziz, A. B., Salim, A. I., . . . Radwan, A. G. (2023). A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2023.100358>
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Huancavelica. (2017). *Manual de operación de planta de tratamiento de agua potable ICHU*. Huancavelica: Gobierno del Perú. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2916910/MANUAL%20DE%20OPERACION%20DE%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20POTABLE%20ICHU.pdf.pdf?v=1647530189>
- Fibras y Normas de Colombia SAS. (2021). *Potabilización: Definición, Etapas del Proceso e Importancia*. Obtenido de Blog Fibras&Normas: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/potabilizacion-definicion-etapas-del-proceso-e-importancia/>
- Gemeda, S. T., Springer, E., Gari, S. R., Birhan, S. M., & Bedane, H. T. (2021). The importance of water quality in classifying basic water services: The case of Ethiopia, SDG6.1, and safe drinking water. *PLoS One*, 16(8), e0248944. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248944>

- Guevara Flores, A. S. (2019). *Rendimiento floculante del mucílago*. Chachapoyas: Universidad Nacional Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Obtenido de <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1751/Guevara%20Flores%20Anthony%20Smith.pdf>
- HACH. (2013). *Water Analysis Guide*. DOC316.53.01336. Obtenido de https://cdn.hach.com/7FYZVWYB/at/gf27jc4w94xtbcqnvk4pjrmg/Water_Analysis_Guide_DOC3165301336.pdf
- He, J., Zhang, Qian, Tan, B., Guo, N., Peng, H., . . . Zhang, Y. (2022). Understanding the effect of residual aluminum salt coagulant on activated sludge in sequencing batch reactor: Performance response, activity restoration and microbial community evolution. *Environmental Research*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113449>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7ma ed.). México: Editorial Mc Graw Hill Education.
- Hoyos Revilla, J. E., & Gamarra Torres, O. A. (2020). 56Pluske,J.R.,Kerton,D.J.,Cranwell,P.D., Campbell, R. G., Mullan, B. P., King, R. H., et al. (2003) Age, sex and weight at weaning influencethephysiologicaland gastrointestinaldevelopmentofweanling pigs.AustralianJournalofAgricultural Research, 54: 515-52. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 57-61. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i3.637>
- Hoyos Revilla, J. E., & Gamarra Torres, O. A. (2020). Calidad de agua potable de la ciudad de Bagua, Amazonas, 2018. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 57-61. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i3.637>
- Huamán Samaniego, H., Arauco Esquivel, S. E., Rojas Bujaico, R. W., & Rojas Bujaico, J. F. (2020). Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú. *UCV-Scientia*, 12(1), 9-23. <https://doi.org/10.18050/ucvs.v.12i1.2598>

- INACAL. (2016). *Agua potable. Toma de muestra. NTP 214.005 1987 (revisada el 2016)*. Lima: OEFA.gob.pe. Obtenido de <https://catalogo.oefa.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=708>
- INEI. (2023). *Amazonas Compendio Estadístico 2022*. Amazonas: Oficina Departamental de Estadística e Informática de Amazonas. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4434871/Compendio%20Estad%20C3%ADstico%2C%20Amazonas%202022.pdf>
- Instituto de Salud Pública. (2023). *Guía de toma de muestras para análisis de sustancias controladas en decomisos*. Chile: Ministerio de Salud. Obtenido de <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2023/04/GuiaTomaMuestras-18122020A-1.pdf>
- International Organization for Standardization. (2024). *ISO 5667-3:2024. Water quality — Sampling — Part 3: Preservation and handling of water samples*. ISO/TC 147/SC 6. Obtenido de <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/22/82273.html>
- Kaiquan Zhang, L. P., & Wenbin Chen, C. W. (2015). Effect of using sodium bicarbonate to adjust the pH to different levels on water quality, the growth and the immune response of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in zero-water exchange biofloc-based culture tanks. *Aquaculture Research*, 48(3), 1194-1208. <https://doi.org/10.1111/are.12961>
- Krupinska, I. (Febrero de 2020). Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules*, 25(3), 641. <https://doi.org/10.3390%2Fmolecules25030641>
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Mensah-Akutteh, H., Buamah, R., Wiafe, S., & Nyarko, K. (2022). Optimizing coagulation–flocculation processes with aluminium coagulation using response surface methods. *Applied Water Science*, 12(188). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01708-1>

- MINISTERIO DE SALUD. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima: Dirección General de Salud Ambiental. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Municipalidad Distrital Tournavista. (2014). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de agua*. Huánuco: Ministerio de Vivienda. Obtenido de https://minos.vivienda.gob.pe:8083/Documentos_Sica/Modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/576656784_MANUAL%20DE%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20AGUA%20PTAP%20Y%20PTAR.pdf
- Naciones Unidas. (15 de Diciembre de 2022). *La salud de diez millones de peruanos está en riesgo por el envenenamiento del agua con sustancias tóxicas*. Obtenido de UN.org: <https://news.un.org/es/story/2022/12/1517512>
- Naciones Unidas. (22 de Marzo de 2024). *Agua para la paz*. Obtenido de UN.org: <https://www.un.org/es/observances/water-day>
- Noriega Gonzalez, M. C. (2021). *Determinación de la dosificación óptima de coagulante para el mejoramiento de la calidad del agua potable en la empresa EMCODAZZI ESP*. Colombia: Universidad de Pamplona. Obtenido de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5505/1/Noriega_2021_TG.pdf
- Ogbozige, F. J., & Nwobu, H. U. (2021). Comparative studies between aluminium sulphate, moringa seed and green plantain peel as coagulants. *Algerian Journal of Engineering and Technology*, 5, 9-13. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5526253>
- Olano Arévalo, R., Tuesta Casique, A., & Azabache Aliaga, B. (2023). Efecto de coagulación-floculación en remoción del hierro y manganeso en acuífero. *Revista Amazónica De Ciencias Ambientales Y Ecológicas*, 2(1), e464. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.464>
- Organización Mundial de la Salud. (13 de Setiembre de 2023). *Agua para consumo humano*. Obtenido de who.int: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/drinking-water>
- Panda, S., Tumedei, M., Panda, S., Goker, F., Depalma, C. M., Pande, T., & Del Fabbro, M. (2024). The Biological Impact of Residual Aluminum Particles on Sand-

- Blasted Dental Implant Surfaces: A Systematic Review of Animal Studies. *Applied Sciences*, 14(17), 7745. <https://doi.org/10.3390/app14177745>
- Pastrana-Pacho, A., Solís-Silvan, R., Ávila-Lázaro, I., Laines-Canepa, J. R., & Sánchez-Díaz, B. (2023). Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio. *Tecnología en Marcha*, 36(2), 135-142. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>
- Razali, M. C., Wahab, N. A., Sunar, N., & Shamsudin, N. H. (2023). Existing Filtration Treatment on Drinking Water Process and Concerns Issues. *Membranes (Basel)*, 13(3), 285. <https://doi.org/10.3390%2Fmembranes13030285>
- Ruiz Chugden, S. M. (2020). Calidad de agua de la microcuenca Lluchca. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 15-21. Obtenido de <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/631/782>
- SENAMHI. (2024). *Estación : BAGUA CHICA , Tipo Convencional - Meteorológica*. Recuperado el 01 de Mayo de 2024, de Senamhi.gob.pe: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Shi, M., Ma, J., & Zhang, K. (2022). The Impact of Water Temperature on In-Line Turbidity Detection. *Water Quality and Contaminant Transport in Aquatic Environments*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/w14223720>
- SUNASS. (13 de Octubre de 2021). *Sunass verifica abastecimiento del servicio de agua potable en Bagua*. Obtenido de Sunass.gob.pe: <https://www.sunass.gob.pe/regiones/amazonas-sunass-verifica-abastecimiento-del-servicio-de-agua-potable-en-bagua-grande/>
- SUNASS. (8 de Junio de 2022). *El tratamiento de aguas residuales en el Perú*. Obtenido de Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento: <https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>
- Tahraoui, H., Toumi, S., Boudoukhani, M., Touzout, N., Sid, A. N., Amrane, A., . . . Zhang, J. (2024). Evaluating the Effectiveness of Coagulation–Flocculation Treatment Using Aluminum Sulfate on a Polluted Surface Water Source: A Year-Long Study. *Water*, 16(3), 400. <https://doi.org/10.3390/w16030400>

- Velasquez Cachay, C. A. (2021). *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*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30225/Tesis_Cesar%20Antonio%20Velasquez%20Cachay.pdf
- Ynofuente Quispe, L., Flores Condori, M., & Vigo Rivera, J. E. (Diciembre de 2022). Residuos de papa como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de agua. *UNED Research Journal*, 14(2). <https://doi.org/10.22458/urj.v14i2.4282>
- Yuan, Z.-Y., Li, Y.-f., Li, T.-y., Yao, J.-l., Zhang, J.-f., & Wang, X.-m. (2022). Identifying key residual aluminum species responsible for aggravation of nanofiltration membrane fouling in drinking water treatment. *Journal of Membrane Science*, 659. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.120833>

ANEXOS

ANEXO 1.

EVALUACIÓN TURBIDEZ DE LAS MUESTRAS



PROCONSQUI SRLtda. Ingeniería & Construcción
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° C3714 - EJECUTORES N° 11614



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 11/03/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 13/05/2024

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: TURBIDÍMETRO

DOSIS	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D0: 0 ppm	MAIRA DURAN MOLINA	PARQUE PRIMERO DE SETIEMBRE-BAGUA	926096272	6.5

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D1: 15 ppm	DEYSI LORENA ACHA PATIÑO	AV. AGROPECUARIO-BAGUA	972669494	4.5

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D2: 20 ppm	MARIO EDUARDO PIZARRO JIMENEZ	JR. AREQUIPA S/N, CESAR VALLEJO-BAGUA	918644431	4.2

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D3: 25 ppm	JOANY KEYDITH VASQUEZ QUIROZ	AV. CIRCUMBALACION N° 1456-BAGUA	987713267	3.8



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 25/03/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 27/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: TURBIDÍMETRO

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D0: 0 ppm	YANINA GUEVARA MANOSALVA	PARQUE SOANE- BAGUA	979650350	5.8

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D1: 15 ppm	ILDA CONCEPCION ROJAS VERA	JR. MOQUEGUA S/N- BAGUA	944144641	5.2

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D2: 20 ppm	FLOR NATHALY FLORES GUERRERO	ESQUINA AGROPECUARIO-BAGUA	931272795	3.8

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D3: 25 ppm	CLAUDIA JHURNELY DURAN DAVILA	SECTOR TERMINAL TERRESTRE-BAGUA	944895137	3.9



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 02/04/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 04/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: TURBIDÍMETRO

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D0: 0 ppm	TEODOLINDA PATIÑO ACHA	SECTOR JERUSALEN-BAGUA	926446304	6.2

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D1: 15 ppm	MARITA LINGAN LEYVA	AV. HEROES DEL CENEPA C1-BAGUA	943838429	3.9

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D2: 20 ppm	ANGELA NICOL JUAREZ CARRASCO	LA PRIMAVERA-BAGUA	944812927	4.5

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D3: 25 ppm	MARIA NELIDA ORTIZ BUSTAMANTE	JR. COMERCIO S/N-BAGUA	959983753	3.5



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 10/04/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 12/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

Delos análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: TURBIDÍMETRO

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D0: 0 ppm	LEMNYS BARRETO	JR. CAJAMARCA/JR. SAN PEDRO-BAGUA	910807802	6.7

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D1: 15 ppm	YANINA PAOLA DELGADO LUQUE	JR. AMAZONAS N° 265-BAGUA	943838429	5.1

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D2: 20 ppm	DIEGO ARTURO UBILLUS NUÑEZ	AV. BAGUA N°-201 - BAGUA	917416763	3.7

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	TURBIDEZ (NTU)
D3: 25 ppm	DANIEL CARRASCO ALCÁNTARA	SUCRE 127 -BAGUA	924749896	3.7

ANEXO 2.

EVALUACIÓN pH DE LAS MUESTRAS



PROCONSQUI SRLtda. Ingeniería & Construcción
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales
Laboratorio & Análisis



REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° C3714 - EJECUTORES N° 11614

SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 11/03/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 13/05/2024

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: POTENCIÓMETRO

DOSIS	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D0: 0 ppm	MAIRA DURAN MOLINA	PARQUE PRIMERO DE SETIEMBRE-BAGUA	926096272	8.712

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D1: 15 ppm	DEYSI LORENA ACHA PATIÑO	AV. AGROPECUARIO-BAGUA	972669494	7.465

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D2: 20 ppm	MARIO EDUARDO PIZARRO JIMENEZ	JR. AREQUIPA S/N, CESAR VALLEJO-BAGUA	918644431	7.032

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D3: 25 ppm	JOANY KEYDITH VASQUEZ QUIROZ	AV. CIRCUMBALACION N° 1456-BAGUA	987713267	7.043



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 25/03/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 27/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: POTENCIÓMETRO

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D0: 0 ppm	YANINA GUEVARA MANOSALVA	PARQUE SOANE- BAGUA	979650350	8.253

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D1: 15 ppm	ILDA CONCEPCION ROJAS VERA	JR. MOQUEGUA S/N- BAGUA	944144641	7.642

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D2: 20 ppm	FLOR NATHALY FLORES GUERRERO	ESQUINA AGROPECUARIO-BAGUA	931272795	7.141

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D3: 25 ppm	CLAUDIA JHURNELY DURAN DAVILA	SECTOR TERMINAL TERRESTRE-BAGUA	944895137	6.323



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 02/04/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 04/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: POTENCIÓMETRO

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D0: 0 ppm	TEODOLINDA PATIÑO ACHA	SECTOR JERUSALEN-BAGUA	926446304	8.554

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D1: 15 ppm	MARITA LINGAN LEYVA	AV. HEROES DEL CENEP C1-BAGUA	943838429	7.553

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D2: 20 ppm	ANGELA NICOL JUAREZ CARRASCO	LA PRIMAVERA-BAGUA	944812927	7.461

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D3: 25 ppm	MARIA NELIDA ORTIZ BUSTAMANTE	JR. COMERCIO S/N-BAGUA	959983753	6.815



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 10/04/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 12/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

Delos análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: POTENCIÓMETRO

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D0: 0 ppm	LEMNYS BARRETO	JR. CAJAMARCA/JR. SAN PEDRO-BAGUA	910807802	7.655

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D1: 15 ppm	YANINA PAOLA DELGADO LUQUE	JR. AMAZONAS N° 265-BAGUA	943838429	7.732

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D2: 20 ppm	DIEGO ARTURO UBILLUS NUÑEZ	AV. BAGUA N°-201 - BAGUA	917416763	7.234

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	pH
D3: 25 ppm	DANIEL CARRASCO ALCÁNTARA	SUCRE 127 -BAGUA	924749896	6.453

ANEXO 3.

EVALUACIÓN ALUMINIO RESIDUAL DE LAS MUESTRAS



PROCONSQUI SRLtda. Ingeniería & Construcción
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales
Laboratorio & Análisis



REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° C3714 - EJECUTORES N° 11614

SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 11/03/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 13/05/2024

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: ALUMINUM OCTA-SLIDE 2

DOSIS	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D0: 0 ppm	MAIRA DURAN MOLINA	PARQUE PRIMERO DE SETIEMBRE-BAGUA	926096272	0.34

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D1: 15 ppm	DEYSI LORENA ACHA PATIÑO	AV. AGROPECUARIO-BAGUA	972669494	0.21

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D2: 20 ppm	MARIO EDUARDO PIZARRO JIMENEZ	JR. AREQUIPA S/N, CESAR VALLEJO-BAGUA	918644431	0.25

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D3: 25 ppm	JOANY KEYDITH VASQUEZ QUIROZ	AV. CIRCUMBALACION N° 1456-BAGUA	987713267	0.33

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311
Email: jeffersonrefa@hotmail.com / proconsqui@gmail.com / alvarosedano3h@hotmail.com



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 25/03/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 27/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: ALUMINUM OCTA-SLIDE 2

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D0: 0 ppm	YANINA GUEVARA MANOSALVA	PARQUE SOANE- BAGUA	979650350	0.14

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D1: 15 ppm	ILDA CONCEPCION ROJAS VERA	JR. MOQUEGUA S/N- BAGUA	944144641	0.19

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D2: 20 ppm	FLOR NATHALY FLORES GUERRERO	ESQUINA AGROPECUARIO-BAGUA	931272795	0.21

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D3: 25 ppm	CLAUDIA JHURNELY DURAN DAVILA	SECTOR TERMINAL TERRESTRE-BAGUA	944895137	0.17



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 02/04/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 04/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

De los análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: ALUMINUM OCTA-SLIDE 2

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D0: 0 ppm	TEODOLINDA PATIÑO ACHA	SECTOR JERUSALEN-BAGUA	926446304	0.21

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D1: 15 ppm	MARITA LINGAN LEYVA	AV. HEROES DEL CENEPA C1-BAGUA	943838429	0.17

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D2: 20 ppm	ANGELA NICOL JUAREZ CARRASCO	LA PRIMAVERA-BAGUA	944812927	0.16

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D3: 25 ppm	MARIA NELIDA ORTIZ BUSTAMANTE	JR. COMERCIO S/N-BAGUA	959983753	0.24



SOLICITANTE: SUE NATASHA CARRASCO ORTIZ

TOMA DE MUESTRA: 10/04/2024

ENTREGA DE RESULTADOS: 12/05/2024

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA
EMPRESA PROCONSQUI SRL**

Delos análisis químicos practicados a las muestras de agua, se obtuvo los siguientes resultados:

METODOLOGIA EMPLEADA: ALUMINUM OCTA-SLIDE 2

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D0: 0 ppm	LEMNYS BARRETO	JR. CAJAMARCA/JR. SAN PEDRO-BAGUA	910807802	0.30

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D1: 15 ppm	YANINA PAOLA DELGADO LUQUE	JR. AMAZONAS N° 265-BAGUA	943838429	0.26

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D2: 20 ppm	DIEGO ARTURO UBILLUS NUÑEZ	AV. BAGUA N°-201 - BAGUA	917416763	0.23

MUESTRA	PROPIETARIO	DIRECCION	TELEFONO	ALUMINIO RESIDUAL (ppm)
D3: 25 ppm	DANIEL CARRASCO ALCÁNTARA	SUCRE 127 -BAGUA	924749896	0.34

ANEXO 2.
FOTOGRAFÍAS

Figura 9.
Toma de muestras en diferentes ubicaciones.



Figura 10.
Muestras de agua etiquetadas.



Figura 11.
Medición del pH de las muestras.

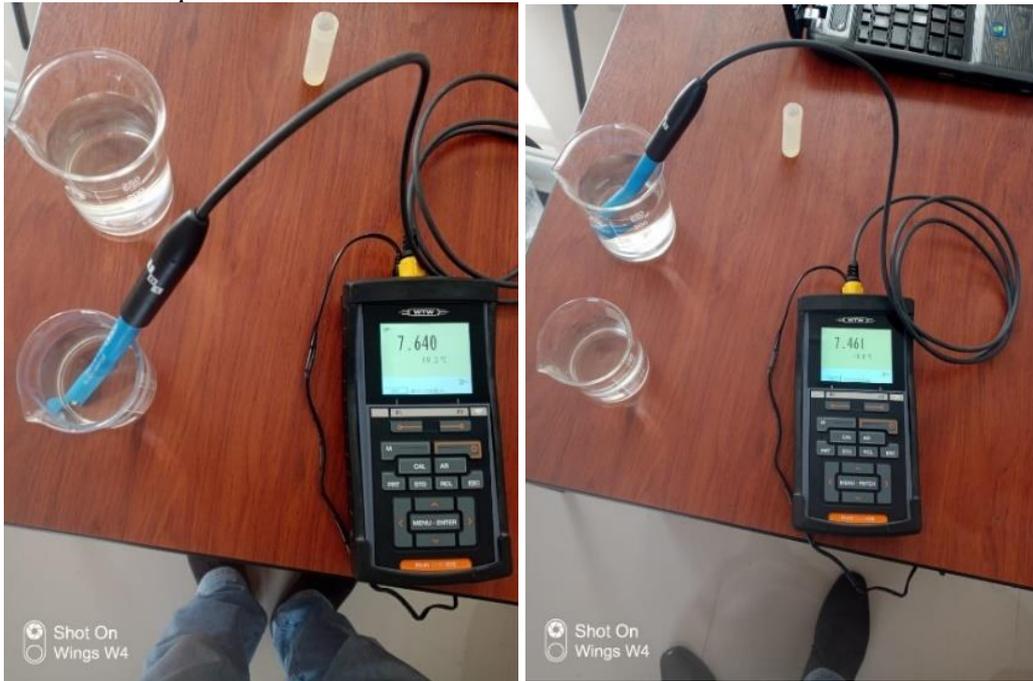


Figura 12.
Medición del aluminio residual de las muestras.

