



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y
ORGÁNICOS APLICANDO LA MEZCLA DE *MORINGA OLEÍFERA*
CON SULFATO DE ALUMINIO COMO TRATAMIENTO DE LAS
AGÜAS RESIDUALES DE LA PTAR TRAPICHE- ANANEA”**

Yenifer Karina Apaza Zela

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Asesor:
Dr. Wile Mamani Navarro**



JULIACA - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y
ORGÁNICOS APLICANDO LA MEZCLA DE *MORINGA OLEÍFERA*
CON SULFATO DE ALUMINIO COMO TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR TRAPICHE- ANANEA”**

Yenifer Karina Apaza Zela

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Asesor:
Dr. Wile Mamani Navarro**



JULIACA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y
ORGANICOS APLICANDO LA MEZCLA DE *MORINGA OLEÍFERA*
CON SULFATO DE ALUMINIO COMO TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR TRAPICHE- ANANEA”**

Bach. Yenifer Karina Apaza Zela

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor:

Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca, 2025

Ficha Catalográfica

Apaza, Y. (2025). *Remoción de los Parámetros Fisicoquímicos y Orgánicos aplicando la mezcla de Moringa Oleífera con Sulfato de Aluminio como Tratamiento de las Aguas Residuales de la PTAR Trapiche - Ananea*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca

AUTOR: Yenifer Karina Apaza Zela

TÍTULO: Remoción de los Parámetros Fisicoquímicos y Orgánicos aplicando la mezcla de *Moringa Oleífera* con Sulfato de Aluminio como Tratamiento de las Aguas Residuales de la PTAR Trapiche - Ananea.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2025.

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (104 pp).

NOTA: Tesis (Ingeniería Ambiental y Forestal) – Universidad Nacional de Juliaca Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal

CÓDIGO: 01-000060-01/A64

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro

PALABRAS CLAVE: Agua residual, dosis, *Moringa oleífera*, pH, sulfato de aluminio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL**

**“REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y
ORGÁNICOS APLICANDO LA MEZCLA DE *MORINGA
OLEÍFERA* CON SULFATO DE ALUMINIO COMO
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
PTAR TRAPICHE - ANANEA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL**

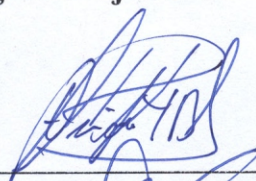
Presentada por:

Yenifer Karina Apaza Zela

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

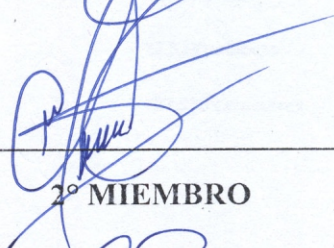
M.Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita

PRESIDENTE DEL JURADO



M.Sc. Milton Quispe Tisnado

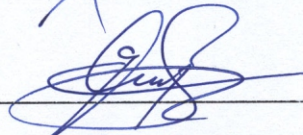
JURADO (Secretario)



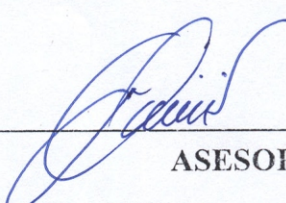
2° MIEMBRO

M.Sc. Ebed David Paredes Rodriguez

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



ASESOR

Dr. Wile Mamani Navarro

Yenifer Karina Apaza Zela

REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y ORGÁNICOS APLICANDO LA MEZCLA DE MORINGA OLEÍFER...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:526412927

104 páginas

Fecha de entrega

11 nov 2025, 10:18 a.m. GMT-5

22.823 palabras

Fecha de descarga

11 nov 2025, 10:39 a.m. GMT-5

127.570 caracteres

Nombre del archivo

BT_FINAL_YENIFER APAZA_10nov.pdf

Tamaño del archivo

2.9 MB






15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

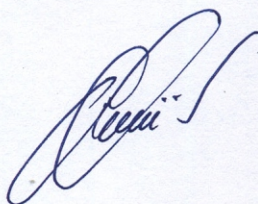
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a papito Dios quien me brindo paciencia y fortaleza para alcanzar mi meta.

A mi papito, Víctor Apaza Yerba, por su apoyo absoluto y la confianza en mis pasos hacia la meta de lograr mi objetivo.

A mi mamita, Benita Zela Calla, por su fuerza, paciencia y amor infinito.

A mis hermanos, Antony y Danitza, por ser mi mayor inspiración y motivo para seguir adelante.

A mis amigos por su amistad sincera, su motivación constante y el apoyo académico en el transcurso de mi proyecto de investigación.

AGRADECIMIENTO

A mi casa superior la Universidad Nacional de Juliaca, que fue un pilar en mi formación académica y profesional.

A mi familia por su guía durante mi formación académica universitaria y su soporte en la ejecución de mi tesis.

A mi asesor Dr. Wile Mamani Navarro por la orientación y apoyo académico que me brindo en este proyecto de investigación y lograr mi objetivo.

A mis jurados de tesis. Sc. C. Enrique Yupanqui Bendita, M.Sc. Milton Quispe Tisnado y M.Sc. Ebed D. Paredes Rodríguez por la revisión y los consejos académicos a lo largo del avance y culminación de mi proyecto de investigación.

A mis amigos virtuosos, quienes me brindaron su apoyo emocional y académico durante la ejecución de este proyecto.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema.....	14
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Pregunta general	16
1.2.2. Preguntas específicas.....	16
1.3. Objetivos de la investigación.....	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación	17
1.5. Hipótesis de la investigación	19
1.5.1. Hipótesis general	19
1.5.2. Hipótesis específicos	19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. Antecedentes internacionales	20
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	22
2.1.3. Antecedente regional y local	24

2.2.	Marco teórico	25
2.2.1.	Aguas residuales domesticas	25
2.2.2.	Tratamiento de aguas residuales.....	25
2.2.3.	Tipo de tratamiento de aguas residuales.....	26
2.2.4.	Proceso de Coagulación.....	27
2.2.5.	Tipo de coagulantes quimicos	28
2.2.6.	Coagulantes naturales	30
2.2.7.	Tratamiento de aguas residuales con Moringa oleífera	31
2.2.8.	Tratamiento de aguas residuales con Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$	31
2.2.9.	Características fisicoquímicas del agua.....	32
2.2.10.	Parámetros Orgánicos.....	33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Ámbito de estudio	36
3.2.	Población y muestra.....	36
3.3.	Materiales , equipos y reactivos.....	37
3.3.1.	Materiales	37
3.3.2.	Equipos	37
3.3.3.	Reactivos	37
3.4.	Metodología.....	38
3.4.1.	Evaluación del efecto de la dosis utilizada en la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio y el pH adecuado para la remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO ₅ y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche Ananea.....	38
3.4.2.	Determinación de la concentración de remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO ₅ y DQO de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea.....	46
3.4.3.	Determinación de las características físico-químicas de la muestra compuesta por Moringa oleífera con sulfato de aluminio que obtuvo los mejores resultados en la	

remoción de turbidez, STS, DBO ₅ y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche-Ananea.....	47
3.5. Técnicas estadísticas para el procesamiento y análisis de los datos	48
3.5.1. Diseño experimental.....	49

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la dosis utilizada en la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio y el pH adecuado para la remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO ₅ y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche Ananea.	50
4.1.1 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de la turbidez.....	50
4.1.2 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de los Sólidos Totales Disueltos	51
4.1.3 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno	53
4.1.4 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de Demanda Química de Oxígeno	54
4.2 Determinación de la concentración de remoción de turbidez, Sólidos Totales Suspendidos, DBO ₅ y DQO de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea.....	56
4.2.1 Remoción de la concentración turbidez	58
4.2.2 Remoción de la concentración de Sólidos Totales Suspendidos (STS).....	60
4.2.3 Remoción de la concentración DBO ₅	62
4.2.3 Remoción de la concentración DQO	65
4.3 Características físico-químicas de la Moringa oleífera con sulfato de aluminio con mejores resultados en el proceso de experimentación.	70

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	73
5.2. Recomendaciones	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Indice de biodegradabilidad del agua residual</i>	35
Tabla 2	<i>Intervalo de medida de DBO₅</i>	45
Tabla 3	<i>Características físicas de la muestra compuesta por Moringa Oleífera con Sulfato de Aluminio que obtuvo los mejores resultados.</i>	47
Tabla 4	<i>Factores y variables de respuesta del proyecto</i>	49
Tabla 5	<i>Características fisicoquímicas de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea</i>	56
Tabla 6	<i>Resultado promedio de la Remoción de la concentración turbidez</i>	58
Tabla 7	<i>Concentracion de remocion de turbidez</i>	59
Tabla 8	<i>Resultado promedio de la remoción de la concentración de solidos totales suspendidos</i>	61
Tabla 9	<i>Concentracion de remocion de solidos totales suspendidos</i>	62
Tabla 10	<i>Resultado promedio de la remoción de la demanda biológica de oxígeno</i>	63
Tabla 11	<i>Concentracion de remocion de demanda biológica de oxígeno</i>	64
Tabla 12	<i>Resultado promedio de la remoción de la demanda química de oxígeno</i>	66
Tabla 13	<i>Concentracion de remocion de demanda química de oxígeno</i>	67
Tabla 14	<i>Resumen de la determinacion de concentracion de remocion en los parámetros fisicoquímicos y orgánicos.</i>	69
Tabla 15	<i>Determinación de la remoción de la mezcla de los coagulantes en los parámetros de STS, turbidez, DBO₅ y DQO</i>	70
Tabla 16	<i>Características fisicoquímicas de Moringa Oleífera con Sulfato de Aluminio</i> ...	72
Tabla 17	<i>Prueba de tukey de turbidez</i>	93
Tabla 18	<i>Prueba de tukey de solidos totales suspendidos</i>	93

<i>Tabla 19 Prueba de tukey del parametro de demanda biologica de oxigeno</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 20 Prueba de tukey para demanda química de oxigeno.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 21 Análisis de la Varianza (ANOVA) de turbidez</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 22 Análisis de la Varianza (ANOVA) de solidos totales suspendidos.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 23 Análisis de la Varianza (ANOVA) de demanda biologica de oxigeno</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 24 Análisis de la Varianza (ANOVA) de demanda quimica de oxigeno</i>	<i>96</i>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Proceso de tratamiento de agua residual</i>	25
Figura 2 <i>Proceso de sedimentación por el proceso de coagulación</i>	27
Figura 3 <i>Proceso de sedimentación por el proceso de coagulación</i>	28
Figura 4 <i>Lugar de estudio del proyecto</i>	36
Figura 5 <i>Efecto de la dosis y pH en la remoción de la turbidez</i>	50
Figura 6 <i>Efecto de la dosis y pH en la remoción de STS</i>	50
Figura 7 <i>Efecto de la dosis y pH en la remoción de DBO₅</i>	54
Figura 8 <i>Efecto de la dosis y pH en la remoción de DQO</i>	55

INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Preparacion del coagulante natural.....</i>	<i>83</i>
<i>Anexo 2. Extracción de aceite del coagulante natural.....</i>	<i>83</i>
<i>Anexo 3. Toma de muestra de agua residual.....</i>	<i>83</i>
<i>Anexo 4. Toma de muestra de agua residual de la PTAR Trapiche-Ananea.....</i>	<i>84</i>
<i>Anexo 5. Tratamiento de coagulación en el equipo del Floculador.</i>	<i>84</i>
<i>Anexo 6. Uso del multiparámetro para determinar los parámetros fisicoquímicos</i>	<i>85</i>
<i>Anexo 7. Analisis de Turbidez posterior al tratamiento de coagulacion</i>	<i>85</i>
<i>Anexo 8. Recoleccion de datos de turbidez</i>	<i>86</i>
<i>Anexo 9. Analisis de Solidos Totales Suspendidos en el laboratorio</i>	<i>85</i>
<i>Anexo 10. Determinacion del DQO luego del proceso de coagulacion.....</i>	<i>88</i>
<i>Anexo 11. Determinación del DBOs luego del proceso de coagulación.....</i>	<i>87</i>
<i>Anexo 12. Cálculo de la preparación de las dosis del coagulante natural y químico.</i>	<i>89</i>
<i>Anexo 13. Gráficos de Normalidad del proyecto</i>	<i>90</i>
<i>Anexo 14. Tablas de prueba de tukey de los parámetros fisicoquímicos y organicos</i>	<i>87</i>
<i>Anexo 15. Tablas de prueba de ANOVA de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos....</i>	<i>88</i>
<i>Anexo 16. Analisis de laboratorio y uso de los equipos de laboratorio y equipos en la UNAJ.</i>	<i>93</i>

RESUMEN

La emisión de aguas residuales es uno de los principales factores de contaminación en el medio acuático. El objetivo del proyecto es la remoción de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos aplicando la mezcla de *Moringa Oleífera* con Sulfato de aluminio como tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Trapiche - Ananea. La metodología inició con un análisis de los parámetros iniciales dando los siguientes resultados: 5.94 de pH, 114.75 NTU, 188.56 mg/L de DQO, 56.62 mg/L de DBO₅ y 43 mg/L de STS. Luego, se realizó la preparación y extracción de aceite de *Moringa oleífera*, la preparación del sulfato de aluminio, así combinarlos en el proceso. Se utilizó el equipo del floculador, aplicando las diferentes dosis de *Moringa oleífera* (800, 1200 y 1500 mg/L) junto con 200 mg de Sulfato de aluminio Al₂(SO₄)₃ y tres niveles de pH (5, 7 y 9). Se utilizó el floculador a una mezcla rápida a 250 rpm durante 5 minutos, seguido de una mezcla lenta a 50 rpm durante 30 minutos y una sedimentación de 60 minutos. Los resultados: 96.880% de turbidez, 94.047 % de STS aplicando una mezcla de 800 mg/L de *Moringa oleífera* y 200 mg/L de Sulfato de Aluminio a un pH 5, y caso de los parámetros orgánicos se obtuvo 79.847 % de DQO y 73.154% de DBO₅ aplicando una mezcla de 1500 mg/L de *Moringa oleífera* con 200 mg/L de Sulfato de Aluminio a un pH 7. Asimismo, se determinó las características físico-químicas de la muestra compuesta por ambos coagulantes que obtuvo los mejores resultados en la remoción. Se concluye que la dosis utilizada y el pH tienen efecto en el proceso de coagulación y en la determinación de la concentración de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos del agua residual de la PTAR Trapiche de Ananea.

Palabras clave: Agua residual, *moringa oleífera*, pH, sulfato de aluminio.

ABSTRAC

Wastewater discharges are one of the main sources of aquatic pollution. The project's objective is to remove physicochemical and organic matter by applying a mixture of *Moringa oleifera* and aluminum sulfate to treat the wastewater at the Trapiche-Ananea WWTP. The methodology began with an analysis of the initial parameters, yielding the following results: 5.94 pH, 114.75 NTU, 188.56 mg/L COD, 56.62 mg/L BOD₅, and 43 mg/L TSS. Subsequently, the oil was prepared and extracted from *Moringa oleifera*, as well as the aluminum sulfate, which was combined in the coagulation process. The flocculator equipment was used, applying different doses of *Moringa oleifera* (800, 1200 and 1500 mg/L) along with 200 mg of aluminum sulfate Al₂(SO₄)₃ and three pH levels (5, 7 and 9). The flocculator was used at rapid mixing at 250 rpm for 5 minutes, followed by slow mixing at 50 rpm for 30 minutes and sedimentation for 60 minutes. The results were as follows: 96.88% turbidity, 94.05% TSS applying the mixture of 800 mg / L of *Moringa oleifera* and 200 mg / L of Aluminum Sulfate at a pH of 5, and in the organic parameters 79.847% COD and 73.154% BOD₅ were obtained applying the mixture of 1500 mg / L of *Moringa oleifera* with 200 mg / L of Aluminum Sulfate at a pH 7. Likewise, the physical-chemical characteristics of the sample composed of *Moringa oleifera* with aluminum sulfate were determined, which obtained the best results in the removal of the parameters. It is concluded that, using the appropriate pH, dose, contact time and appropriate sedimentation, a high removal of the physicochemical and organic parameters of the wastewater of the Trapiche de Ananea WWTP is achieved.

Key words: Wastewater, *moringa oleifera*, pH, aluminum sulfate.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales representan un problema ambiental, ya que contienen contaminantes físicos, químicos y biológicos que afectan la salud humana y los ecosistemas acuáticos Tchobanoglous et al. (2014). En el Perú, el tratamiento inadecuado de efluentes industriales y domésticos ha contribuido al deterioro de cuerpos hídricos (MINAM, 2020). El tratamiento de aguas residuales se ha convertido en un desafío ambiental urgente debido al crecimiento poblacional, la industrialización y la expansión urbana. Entre los procesos más empleados en el tratamiento de aguas residuales se encuentra la coagulación-floculación, una técnica fisicoquímica eficiente para la remoción de sólidos suspendidos, turbidez, materia orgánica y contaminantes coloidales (Gupta & Ali, 2022).

La coagulación es un proceso físico-químico mediante el cual se neutralizan las cargas eléctricas de las partículas coloidales presentes en el agua, permitiendo su desestabilización (Fonseca Henríquez, 2017). Luego, en la floculación, estas partículas se agrupan formando flóculos mayores y sedimentables (Tchobanoglous et al., 2014). Este proceso es comúnmente utilizado en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, ya que reduce parámetros como turbidez, DBOs, DQO, sólidos suspendidos y metales pesados (Meza Castillo & Morales Moreno, 2022). Tradicionalmente, se han utilizado coagulantes químicos como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico debido a su alta eficiencia y rapidez en la desestabilización de partículas. En este contexto, la coagulación-floculación sigue siendo un método clave por su eficacia y bajo costo, siendo capaz de eliminar partículas coloidales, turbidez y materia orgánica de forma rápida (Jiang, 2015; Ang & Mohammad, 2019).

Los coagulantes más empleados son sales de aluminio (sulfato de aluminio) y hierro (cloruro férrico), aunque su uso excesivo puede generar lodos tóxicos (Revolledo Chaparro, 2021). Tradicionalmente, se han utilizado coagulantes químicos como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico debido a su alta eficiencia y rapidez en la desestabilización de partículas. No obstante, su uso continuado implica ciertos riesgos, como la generación de grandes volúmenes de lodos químicos, la posible toxicidad residual en el agua tratada y efectos negativos en la salud humana, como alteraciones neurológicas asociadas a la exposición prolongada al aluminio (Tang et al., 2015; Exall & VanLoon, 2016).

Los coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, se utilizan considerablemente por su alta capacidad de desestabilización. En contraste, los coagulantes naturales han emergido como alternativas biodegradables, sostenibles y menos tóxicas. Por ello, se ha investigado el uso de coagulantes naturales como la semilla de *Moringa oleífera*, goma de tara o cáscara de plátano (Chacón Ramos & Ramos Zavala, 2019). Además, los coagulantes prehidrolizados, como el policloruro de aluminio (PAC), muestran mejores eficiencias con menor dosis (Cogollo, 2018).

Por otro lado, los coagulantes naturales han ganado creciente atención en las últimas décadas por ser biodegradables, sostenibles, no tóxicos y económicamente accesibles, especialmente en contextos rurales. Entre ellos, destacan los extractos de *Moringa oleífera*, el quitosano, las cáscaras de semillas, mucílagos y otros polisacáridos de origen vegetal, que han demostrado una remoción efectiva de turbidez y materia orgánica sin comprometer la salud humana ni el ambiente (Okuda et al., 2017; Yang et al., 2016). Un beneficio adicional de los coagulantes naturales es que su eficiencia puede mantenerse relativamente constante en un rango amplio de pH (Beltrán-Heredia & Sánchez-Martín, 2016). Los coagulantes naturales pueden ser lentos y menos eficaces frente a altas cargas contaminantes, la sinergia entre coagulantes naturales e inorgánicos ha ganado interés. Estudios recientes muestran que combinar ambos tipos optimiza la remoción de contaminantes mientras se reduce el impacto ambiental y los costos operativos, lo que es especialmente relevante en países en desarrollo (Ndabigengesere & Narasiah, 2016; Ghebremichael, 2014; Mdpi 2024).

Frente a estas fortalezas y limitaciones, numerosos estudios recomiendan el uso combinado o secuencial de coagulantes naturales e inorgánicos, lo cual permite maximizar la eficiencia del tratamiento mientras se reducen costos y el impacto ambiental (Ndabigengesere & Narasiah, 2015; Ghebremichael, 2014). Esta sinergia permite aprovechar la alta capacidad de remoción de los químicos y la sostenibilidad de los naturales, ofreciendo una alternativa atractiva para sistemas de tratamiento en países en desarrollo o en zonas con recursos limitados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema.

A nivel mundial, el manejo inadecuado de las aguas residuales es una problemática global que afecta tanto a países industrializados como en desarrollo. Se estima que aproximadamente el 80% de las aguas residuales generadas a nivel mundial se vierten al medio ambiente sin tratamiento alguno, lo que conlleva consecuencias ambientales, sanitarias y económicas (UNESCO, 2020). Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWDR, 2023), más de 2.000 millones de personas consumen agua potable contaminada por heces, y el 80% de las enfermedades están relacionadas con el agua contaminada. Adicionalmente, los cuerpos receptores (ríos, lagos y mares) se están degradando a causa de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, lo que provoca la eutrofización y la disminución de la biodiversidad acuática. Esta problemática se agrava por la limitada implementación de normativas ambientales, la falta de infraestructura y la escasa aceptación de tecnologías de reutilización (Jones, 2021). En países como India, Nigeria o Perú, gran parte de las aguas residuales domésticas e industriales se descargan sin tratamiento, afectando la salud humana y los ecosistemas (WHO & UNICEF, 2021). Por otro lado, el cambio climático agrava el problema: las sequías reducen el caudal de dilución natural, mientras que los eventos extremos incrementan el colapso de los sistemas de tratamiento existentes (UNEP, 2022).

A nivel América del Sur, de acuerdo con el Banco Mundial (2023), más del 70% de las aguas residuales producidas en el país no son tratadas antes de ser liberadas en cuerpos de agua, impactando directamente en ríos, lagos y áreas costeras. La CEPAL (2022) alerta que menos del 50% de las aguas residuales urbanas son tratadas, mientras que el 25% de los ríos presenta una contaminación intensa. En América del Norte, pese a contar con infraestructuras más avanzadas, también existen áreas críticas.

En el Perú, el tratamiento inadecuado de las aguas residuales representa una problemática ambiental y de salud pública. A pesar del incremento de inversiones en infraestructura de saneamiento, actualmente solo el 36.6 % de las aguas residuales domésticas recibe tratamiento adecuado, y en las zonas rurales esta cifra desciende a menos del 5 % (SUNASS, 2022). A nivel nacional, la Autoridad Nacional del Agua ha detectado más de 100 fuentes de agua contaminadas. Dentro de las situaciones más graves se hallan el río Rímac, que suministra agua a Lima Metropolitana, el río Chili en Arequipa, el río Mantaro en el centro del país, y el lago Titicaca, que se ve afectado por los residuos de Juliaca y otras urbes de la región Puno (ANA, 2023).

En Puno, específicamente en el distrito de Ananea, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Trapiche evidencia deficiencias significativas, entre ellas la ausencia del uso de coagulantes en su proceso de tratamiento, lo cual expone a la población local a serios riesgos sanitarios (Delgado, 2022). Por ello, la incorporación de *Moringa oleífera* como coagulante natural podría representar una solución viable para mejorar los parámetros del agua residual. Frente a esta problemática, ha surgido un interés creciente en el tratamiento mediante un proceso de coagulación y floculación en el manejo de aguas residuales (Henríquez, 2017).

El uso de coagulantes naturales como la *Moringa oleífera*, cuyas semillas poseen proteínas catiónicas capaces de actuar como agentes coagulantes al neutralizar las cargas negativas de las partículas en suspensión (Okuda et al., 2021). Diversos estudios han demostrado que la *Moringa* puede igualar la eficacia del sulfato de aluminio en la reducción de turbidez, con la ventaja de ser biodegradable y no tóxica (Anwar et al., 2007). A su vez ha surgido el interés por el uso de coagulantes naturales como la *Moringa oleífera*, cuyas semillas poseen proteínas catiónicas capaces de actuar como agentes coagulantes al neutralizar las cargas negativas de las partículas en suspensión (Okuda et al., 2021). Diversos estudios han demostrado que la *Moringa oleífera* puede combinarse con coagulantes químicos como el sulfato de aluminio en la reducción de turbidez, con la ventaja de ser biodegradable y no tóxica (Anwar et al., 2017). Esta combinación podría representar una estrategia eficiente para mejorar la calidad del tratamiento sin comprometer la salud pública ni el equilibrio ecológico (Sánchez-Machado et al., 2010).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la capacidad de remoción de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos aplicando la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio como tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Trapiche- Ananea?

1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Qué efecto tiene la dosis utilizada en la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio y el pH adecuado para la remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO₅ y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche Ananea?
- ¿Cuánto es la concentración de remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO₅ y DQO de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea?
- ¿Cuáles fueron las características físico-químicas de la muestra compuesta por *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio que obtuvo los mejores resultados en la remoción de turbidez, STS, DBO₅ y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche- Ananea?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Remover los parámetros fisicoquímicos y orgánicos aplicando la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio como tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Trapiche- Ananea

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la dosis utilizada en la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio y el pH adecuado para la remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO₅ y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche Ananea.
- Determinar la concentración de remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO₅ y DQO de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea.

- Determinar las características físico-químicas de la muestra compuesta por *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio que obtuvo los mejores resultados en la remoción de turbidez, STS, DBO5 y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche- Ananea.

1.4. Justificación

Desde el aspecto ambiental, el tratamiento de aguas residuales mediante coagulantes, como el sulfato de aluminio, aunque efectivo, genera la producción de lodos químicos, posibles residuos y elevados costos operativos (Lou et al., 2019). En contraste, con el uso de coagulantes naturales como las semillas de *Moringa oleífera* representa una alternativa ecológica, sostenible y accesible. Estas semillas contienen proteínas catiónicas que actúan como biocoagulantes, logrando una remoción efectiva de turbidez, sólidos suspendidos y materia orgánica, sin generar residuos tóxicos ni alterar el ecosistema (Scaramal et al., 2019). Además, *Moringa oleífera* es biodegradable, no tóxica, y produce una cantidad menor de lodos en comparación de los coagulantes químicos (Hariz et al., 2018). Por ello, la combinación de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio surge como una estrategia ambientalmente óptima, que permite reducir la cantidad de coagulante químico, así mejorar la eficiencia del tratamiento y disminuir el impacto ambiental, según Sandoval y Laines (2015), el uso de bajas concentraciones de coagulantes inorgánicos como complemento de coagulantes naturales puede aumentar significativamente la eficiencia de remoción de contaminantes sin elevar el riesgo ambiental. Por estudios de Bhuptawat et al. (2017), quienes demostraron que la combinación de *Moringa* con aluminio mejora los procesos de coagulación-floculación y reduce los costos ambientales y económicos.

Asimismo, Paula et al. (2014) encontraron que la mezcla de *Moringa* con aluminio es eficaz en el tratamiento de aguas industriales, logrando una remoción de turbidez y sólidos suspendidos, con una menor generación de lodos. En resumen, la combinación de *Moringa oleífera* y sulfato de aluminio constituye una alternativa ambientalmente viable para el tratamiento de aguas residuales. Zea Cobos et al. (2024).

Desde el aspecto social, el tratamiento adecuado de las aguas residuales, es un factor que protege la salud pública, preserva el medio ambiente y garantiza la sostenibilidad de los recursos hídricos. Los coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, son ampliamente utilizados debido a su alta eficacia en la remoción de contaminantes. Sin embargo, su uso prolongado puede tener efectos secundarios en la salud humana y el medio ambiente, debido a la generación de lodos tóxicos (Pritchard et al., 2010). Frente a ello, el empleo de coagulantes naturales, como la *Moringa oleifera*, ha surgido como una opción sostenible, accesible y menos perjudicial para las comunidades. Batista et al. (2023), demuestran que la Moringa puede alcanzar hasta un 90% de remoción de turbidez, 70% de color y 99% de E. coli, con impactos ambientales mínimos. Además, al ser un recurso de origen vegetal, puede ser cultivado localmente, promoviendo la participación comunitaria y generando oportunidades rurales (Ndabigengesere & Narasiah, 2010).

En cuanto al aspecto económico, muchas municipalidades y plantas de tratamiento de aguas residuales continúan dependiendo de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico. Aunque estos productos son eficaces en la remoción de turbidez y contaminantes, implican altos costos de adquisición, transporte, almacenamiento y disposición de lodos, que compromete la sostenibilidad económica del sistema de tratamiento (Kurniawan et al., 2011). En contraste, los coagulantes naturales, como las semillas de *Moringa oleifera*, se presentan como una alternativa más económica, accesible y ambientalmente sostenible. Diversos estudios han demostrado que su uso reduce significativamente los costos operativos al eliminar la necesidad de productos químicos costosos y disminuir la producción de lodos tóxicos (Batista et al., 2023).

Desde el aspecto tecnológico, la combinación de coagulantes naturales como la *Moringa oleifera* con químicos tradicionales ha mejorado la coagulación-floculación, aprovechando sus propiedades catiónicas para aumentar la eficiencia y reducir el uso de químicos, mientras el sulfato de aluminio aporta estabilidad y rapidez en la formación de flóculos (Bhuptawat et al., 2017). Este enfoque híbrido optimiza la sedimentación, disminuye la generación de lodos y es adaptable a plantas existentes sin requerir grandes inversiones (Paula et al., 2014; Zea Cobos et al., 2024).

La disponibilidad local y fácil procesamiento de la *Moringa* facilita su aplicación en comunidades con recursos limitados (Batista et al., 2023), fomentando la innovación en el diseño de reactores y la optimización de parámetros operativos para una mayor remoción de contaminantes con bajo impacto ambiental (Lou et al., 2019). Además, al tratarse de un recurso vegetal cultivable a nivel local, se promueve el aprovechamiento de recursos endógenos y se estimula la economía circular. Por lo tanto, la transición hacia el uso de coagulantes naturales no solo optimiza el gasto público en saneamiento, sino que también favorece la autonomía económica de los gobiernos locales y mejora el acceso equitativo a tecnologías de tratamiento de agua de un costo accesible.

1.5. Hipotesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio tiene la capacidad de remover los parámetros fisicoquímicos y orgánicos de las aguas residuales de la PTAR trapiche- Ananea.

1.5.2. Hipótesis específicos

- La dosis utilizada en la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio y el pH adecuado tendrá influencia en la remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO5 y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche Ananea.
- Determinando la concentración de remoción de turbidez, STS, DBO5 y DQO, se obtendrá datos adecuados en el tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Trapiche- Ananea.
- En la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio, se tendrá la características fisico-químicas del mejor resultado en la remoción de turbidez, STS, DBO5 y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche- Ananea.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

González et al. (2024), en su investigación, subrayan que esta combinación de coagulantes naturales y químicos puede ser especialmente beneficiosa en áreas donde los tratamientos convencionales son costosos o poco accesibles. Los resultados indicaron mejoras en la calidad del agua al reducir la turbidez, los microorganismos patógenos y distintos contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales en las áreas rurales de Colombia.

Batista et al., (2023), evaluaron el uso de *Moringa oleífera* semilla en polvo (MO) como acondicionador de lodo natural. El aumento de dosis de MO aumentó el potencial sobrenadante, resultó una dosis óptima de 1.2 g/L, con una eliminación del 90 % de turbidez, 70 % de color, 99 % de E. coli, y 40% de materia orgánica. Los valores de pH y conductividad eléctrica no cambiaron con el aumento de la dosis de MO, lo cual es una ventaja competitiva de MO en comparación con la adición de sales de hierro y aluminio. Estos resultados enfatizaron que *M. oleífera* puede mejorar la calidad del sobrenadante y puede ser un acondicionador de inferior costo y de fácil acceso para el espesamiento de lodos de aguas residuales.

Jadabi et al., (2023), determinaron que las semillas de *Moringa oleífera* tienen una doble función como antimicrobiano y coagulante natural para el tratamiento de efluentes contaminados. Además, los problemas relacionados con el uso de coagulantes convencionales (metales o polímeros) han impulsado diversas investigaciones hacia el desarrollo de coagulantes naturales que sean ecológicos para el tratamiento de aguas residuales, con el fin de mejorar la disponibilidad, reducir costos y aumentar la biodegradabilidad.

Kisakye, (2023), instalaron cuatro tipos de filtros: un filtro de cubeta (BF), un filtro BioSand (CBSF), un filtro de cubeta de dosis alta (125 mg/L) (MUBFHigh) y un filtro de cubeta de dosis baja (75 mg/L) (MUBFLow). Durante un periodo de 91 días, se evaluaron parámetros como turbidez, pH, materia orgánica y E. coli. Los resultados mostraron que el MUBF High logró una eficiencia de eliminación de E. coli entre el 81 y el 98 %, comparable a la del CBSF. Este filtro también cumplió con las normas de la OMS en cuanto a turbidez, materia orgánica y pH. Además, el MUBF High pesaba entre 15 y 20 kg, en contraste con los 230 kg del CBSF. Aunque el costo inicial del CBSF fue más del doble que el del sistema MUBF High, este último requiere más esfuerzo para estar operativo.

Lester et al., (2023), utilizaron el extracto crudo de *Moringa oleífera* (MOCE) y se comparó su efectividad con el alumbre y un polímero sintético, optimizando factores como el pH, la dosis y el tiempo de sedimentación. Las pruebas en frasco indicaron que el MOCE generaba una cinética de coagulación-floculación rápida y una mayor eliminación de aceite en comparación con el alumbre y el polímero (95 % para MOCE, 71 % para alumbre y 48 % para el polímero). Además, el MOCE mostró un rango de pH efectivo (entre 3 y 11) sin alterar el pH inicial de las aguas residuales. Sin embargo, el MOCE generó un mayor volumen de lodo (35 ml/L) en comparación con el alumbre (25 ml/L), mientras que el polímero sintético solo produjo un lodo pegajoso que se adhería a las paredes del recipiente.

Chales et al., (2022), investigaron la efectividad de *M. oleífera* en la eliminación de turbidez, así como su impacto en el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica residual y la citotoxicidad del agua tratada. Las extracciones salinas demostraron ser las más efectivas, logrando una reducción de turbidez del 90 %. Aunque las dosis altas no alteraron el pH, sí incrementaron la materia orgánica residual. Por otro lado, las semillas mostraron una disminución en la citotoxicidad del agua a comparación de las semillas enteras.

Rifi et al., (2022), utilizaron *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales, aplicando la metodología de superficie de respuesta (RSM). Se analizaron tres respuestas (turbidez, DQO y polifenoles) en función de cuatro variables independientes: *Moringa oleífera*, dosis, pH, velocidad de agitación y tiempo. Los resultados mostraron un alto coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{Aj} = 86.73\%$, $R^2_{Adj} = 90.39\%$ y $R^2_{Adj} = 93.33\%$ para turbidez, DQO y polifenoles, respectivamente). Las condiciones óptimas identificadas para un rendimiento efectivo con *Moringa oleífera* fueron: 6500 mg/L de Moringa, pH 6, 35 rpm de agitación y 25 minutos de tiempo de agitación. Bajo estas condiciones, se lograron eficiencias de eliminación del 96 % para la turbidez, 88 % para DQO y 86 % para los polifenoles.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Calizaya et al., (2024), evaluaron la eficacia de las semillas de *Moringa oleífera* y el sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Caplina de Tacna. Se recolectaron muestras de 20, 40 y 60 mg/L de ambos coagulantes. Los resultados mostraron que el sulfato de aluminio logró una mayor reducción 97.08% de NTU y la *Moringa oleífera*, que obtuvo una eficiencia de 96.01%. Se concluye que la *Moringa oleífera* se destaca como una opción más sostenible y segura para el tratamiento de agua potable.

Arango & Martínez, (2022), evaluaron el efecto de las semillas de *Moringa oleífera* en la reducción de turbidez y *Escherichia coli* durante el proceso de coagulación de aguas naturales del río Shullcas. Los resultados iniciales mostraron una turbidez de 27 NTU y una concentración de *E. coli* de 240.000 NMP/100 ml. Al aplicar dosis de 5 mg/L, 10 mg/L y 15 mg/L, se obtuvieron reducciones de turbidez del 78.7 %, 75.19 % y 82.10 %, respectivamente, mientras que la eliminación de *E. coli* fue del 97.47 %, 95.33 % y 98.01 %. Además, al evaluar tiempos de mezcla rápida de 30 s, 60 s y 90 s, las eficiencias de remoción de turbidez fueron del 74.81 %, 84.14 % y 77.20 %, y para *E. coli*, del 94.57 %, 97.76 % y 98.49 %. Se concluyó que la dosis de coagulante de 15 mg/L y un tiempo de mezcla rápida de 60s lograron los mejores resultados.

Bravo, (2021), utilizaron semillas de *Moringa oleífera* como biocoagulante natural en el río Ahuashiyacu, empleando dosis que variaron entre 40 mg/L y 140 mg/L. El proceso incluyó un mezclado rápido a 100 rpm durante un minuto, seguido de un mezclado lento a 40 rpm durante diez minutos, y finalmente una sedimentación de 30 minutos. Con una dosis óptima de biocoagulante de 100 mg/L, se logró una reducción de turbidez del 97,06 % y una disminución del color aparente del 92,3 %. El pH y la alcalinidad no mostraron un impacto significativo, mientras que la dureza se redujo en un 12 % respecto a su valor inicial. Se observó un aumento considerable en la conductividad y los sólidos disueltos totales.

Castillo & Avendaño, (2020), utilizaron el método de jarras con dosis de semillas de moringa de 100 y 200 mg/L, a velocidades de 20 y 30 rpm, y durante tiempos de 20 y 30 minutos. Las condiciones más efectivas resultaron ser: dosis de 200 mg/L de semillas de moringa, velocidad de 30 rpm y un tiempo de 30 minutos. El tiempo de sedimentación fue de 90 minutos, durante los cuales se registraron niveles de turbidez de 48.6 , 32 y 424 (UNT). Se determinó la composición proximal con los siguientes porcentajes: 5.70% de humedad, 30.78% de proteínas, 40.36% de materia grasa, 4.42% de cenizas y 18.74% de carbohidratos. Se logró una reducción de turbidez del 97.04, 92.37 y 98.88% respectivamente.

Arenas, (2019), realizó una evaluación sobre la eliminación de aceite de las semillas de Moringa, utilizando tres niveles iniciales de turbidez en agua sintética: 20 , 120 y 500 UNT. Se emplearon agua destilada (AD) y NaCl 1M como disolventes, utilizando semillas originales de *Moringa oleífera* ("Mo") y semillas "MosinAc" tras extraerles el aceite. Se determinaron los disolventes más eficaces, así como las dosis óptimas de coagulante al 1% en los tres tipos de fluidos sintéticos. También se analizaron los efectos de los coagulantes en el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez inicial. Se concluyó que, entre los disolventes utilizados, el NaCl 1M resultó ser el más efectivo.

Guanillo, (2019), evaluó la efectividad de *Moringa oleífera* y *Aloe barbadensis* para reducir el fósforo. Se realizaron tratamientos con dosis de coagulante de 500, 800 y 1000 mg/L respectivamente, aplicando agitación rápida a 100 RPM durante 30 minutos, seguida de agitación lenta a 30 RPM durante 10 minutos, y un tiempo de reposo de 3 horas. Con un nivel de contaminación inicial de 0.781 mg/L, los resultados mostraron una eficacia en la eliminación de fósforo del 85.9%. Además, se observó una disminución en la conductividad, alcanzó 684 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la turbidez después del tratamiento fue de 10.3 NTU (T1), 15.55 NTU (T2) y 7.75 NTU (T3). El tratamiento demostró ser efectivo para eliminar fósforo total.

2.1.3. Antecedente regional y local

Sucaticona, (2022), evaluó la eliminación de turbidez y aluminio residual en aguas naturales utilizando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, junto con floculantes de harina de papa deshidratada de las variedades Imilla Negra e Imilla Rosada. Los resultados indican que logro la mayor remoción de turbidez (95.91%) y de aluminio residual (93.83%) a un pH óptimo de 7.3, utilizando el policloruro de aluminio con la adición de harina de papa deshidratada de la variedad Imilla Negra. Esto fue seguido por una remoción de turbidez del 93.88% y de aluminio del 93,83% a un pH de 7.3, empleando el policloruro de aluminio con la adición de harina de papa de la variedad Imilla Rosada.

Tintaya, (2019), utilizó sulfato de aluminio como coagulante e hidróxido de calcio como floculante. Las variables evaluadas fueron el pH (entre 7.5 y 12), la dosis de coagulante (de 30 a 100 mg/L), la velocidad de agitación (de 20 a 150 rpm) y el tiempo (de 10 a 20 minutos). El pH óptimo es 7.5 en 10 minutos, con una velocidad de agitación de 150 rpm. Se concluyó que el pH es la variable más relevante en el proceso de recuperación de arsénico. El coeficiente de correlación obtenido fue de $R^2 = 97.97\%$ para las aguas municipales y 91.4094% para las aguas de pozo, lo que indica que el proceso de eliminación de arsénico en las aguas de la ciudad de Huancané es efectivo.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas residuales domesticas

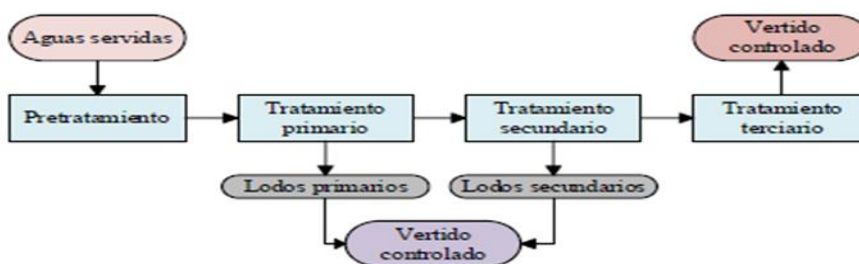
Las aguas residuales son aquellas que han sido afectadas en su calidad original debido a la influencia antropogénica, procedentes de actividades domésticas, industriales, comerciales y agrícolas (Metcalf & Eddy, 2014). Por su parte, Tchobanoglous et al., (2014) señalan que las aguas residuales incluyen todos los efluentes líquidos descartados de las actividades humanas, conteniendo materia orgánica e inorgánica que puede causar impactos en la salud y el ambiente si no se tratan adecuadamente.

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales

Es un conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos aplicados a tipos de aguas residuales, con el propósito de eliminar todos los contaminantes. Esto puede incluir métodos sencillos como el asentamiento y la filtración, así como técnicas más complejas (Pomalza at., 2016). Según Tchobanoglous et al. (2014), el tratamiento de aguas residuales se divide generalmente en tres etapas: tratamiento primario, tratamiento secundario, y tratamiento terciario. Asimismo, como señalan Henze et al. (2014), el diseño del tratamiento depende de factores como el tipo de aguas residuales, los estándares de vertimiento, la tecnología disponible y la capacidad económica de la entidad gestora. Por ello, en países en desarrollo se promueve el uso de tecnologías de bajo costo y fácil operación, como lagunas de estabilización o sistemas naturales de tratamiento

Figura 1

Proceso de tratamiento de agua residual



Nota: Extraído de un trabajo de investigación Condorchem (2022)

2.2.3. Tipo de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se clasifica en tres niveles primordiales: primario, secundario y terciario, cada uno con funciones específicas para la eliminación progresiva de contaminantes. Esta clasificación es fundamental para el diseño y operación de sistemas eficientes y sostenibles (Metcalf & Eddy, 2003; Tchobanoglous et al., 2014).

a) Tratamiento primario

Tiene como objetivo la remoción de sólidos grandes y sedimentables a través de procesos físicos como el cribado, desarenado y sedimentación. En esta etapa se puede eliminar entre el 40% y 60% de los sólidos suspendidos totales (Mara, 2004). Es una etapa básica pero insuficiente si se desea proteger cuerpos receptores o reutilizar el agua.

b) Tratamiento secundario

Consiste en procesos biológicos que eliminan la materia orgánica biodegradable disuelta. Los sistemas más comunes incluyen lodos activados, filtros percoladores, lagunas de estabilización y reactores anaerobios. Esta fase puede remover hasta un 90% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Henze et al., 2008). Es la etapa más crítica para reducir el impacto sanitario y ecológico.

c) Tratamiento terciario o avanzado

Está destinado a excluir contaminantes determinados como nutrientes (nitrógeno y fósforo), metales pesados, microorganismos patógenos y compuestos tóxicos. Incluye procesos físico-químicos como filtración, desinfección, adsorción o coagulación-floculación. Se emplea especialmente cuando el efluente se destina al reúso o descarga en cuerpos de agua sensibles (Tchobanoglous et al., 2014).

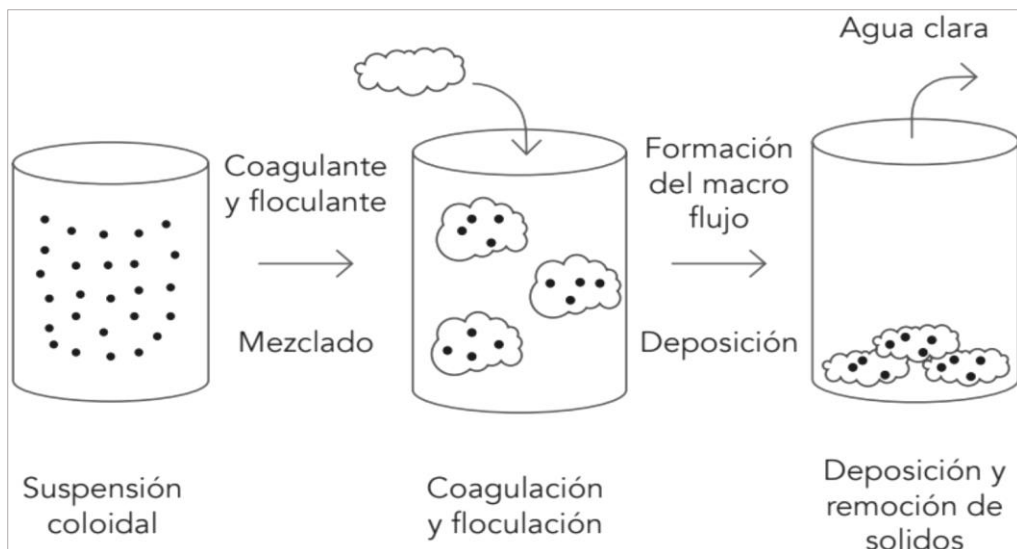
2.2.4. Proceso de Coagulación

La coagulación es un proceso de descompensación química de partículas coloidales que resulta de la neutralización de las fuerzas que las mantienen separadas mediante los coagulantes químicos según Pomalaza et al. (2016).

La coagulación es una operación unitaria del tratamiento de aguas residuales que consiste en la adición de sustancias químicas coagulantes para desestabilizar partículas coloidales y sustancias disueltas que no pueden eliminarse por métodos físicos convencionales (Metcalf & Eddy, 2014).

Figura 2

Metodo de coagulación y Floculación



Nota: Extraído de un trabajo de investigación Condorchem (2022)

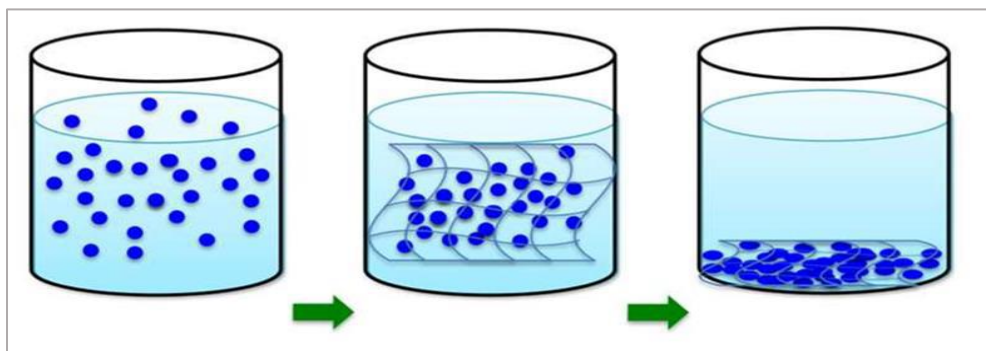
Su objetivo es facilitar la eliminación de contaminantes microbiológicos, eliminar materia orgánica natural y adsorber contaminantes inorgánicos disueltos, a través de la desestabilización de cargas. Esto modifica la carga superficial de las partículas en suspensión, lo que favorece su adherencia mutua. Para lograr esta desestabilización, existen varios métodos, entre los que se encuentran la compresión de la doble capa, la neutralización de la carga superficial, la adsorción y el puente entre partículas. (Edzwald, 2011).

a) Floculación

La floculación es un proceso luego de la coagulación. Este proceso consiste en agitar la masa coagulada para promover el desarrollo y la aglomeración de los flósculos recién formados, lo que facilita su sedimentación debido al aumento de peso y tamaño (Pomalaza et al., 2016).

Figura 3

Proceso de sedimentación por el proceso de coagulación.



Nota: Extraído de un trabajo de investigación de Crittenden et al. (2012)

b) Uso del Test de Jarras

Es un procedimiento experimental utilizado para identificar la dosificación más adecuada de coagulante para un tipo específico de agua, prestando especial atención a la variación del pH y la formación de flóculos. Permite controlar el proceso de coagulación. Además, este procedimiento puede servir para determinar las velocidades de sedimentación, lo que es útil para el diseño de tanques y para evaluar el potencial del agua cruda para una filtración directa (Cardenas, 2012).

2.2.5. Tipo de coagulantes químicos

Los coagulantes/floculantes de origen metálico han sido los más empleados para el tratamiento de aguas residuales. Entre ellos encontramos el sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y aluminato de sodio (Guzmán et al., 2013).

a) Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ es un sólido cristalino (como la arena), blanco o incoloro e inodoro. Se utiliza en el tratamiento de aguas residuales, purificación del agua, fabricación del papel y curtido de pieles. Conocido como alumbre, es uno de los coagulantes más usados en el tratamiento convencional de aguas residuales y naturales, además de su efectividad tiene otras ventajas como bajo costo, facilidad de uso y disponibilidad. (Nardi et al., 2012).

b) Sulfato férrico

Es un compuesto conformado por hierro, azufre y oxígeno, empleado en el tratamiento de aguas industriales. Es una sal sólida de color amarillo y soluble en agua a temperatura ambiente. Su fórmula química es $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Es un floculante empleado constantemente debido a su capacidad para favorecer la sedimentación de las partículas coloidales del agua (Mera et al., 2018).

c) Sulfato ferroso

Es una sal de color verde, cuya fórmula química es (FeSO_4) . En las plantas de purificación de aguas, se emplea como floculante y depurador de fosfatos y ortofosfatos (Mera et al., 2018).

d) Cloruro ferrico

Es un sólido muy volátil, que puede ser de color verde o rojo. Se emplea como coagulante para aguas residuales, principalmente provenientes de la industria. Su principal desventaja se debe a que es una sustancia corrosiva, altera y aporta color al agua (Olivero-Verbel et al, 2014).

e) Aluminato de sodio

Es un sólido cristalino de color blanco y con fórmula química NaAlO_2 que se emplea como complemento en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a la capacidad de mejorar el proceso de floculación, eliminar la sílice y los fosfatos (Olivero-Verbel et al ,2014).

2.2.6. Coagulantes naturales

Es una fuente alternativa con un alto potencial debido a su biodegradabilidad ya que no causa daños al medio ambiente en comparación con los coagulantes inorgánicos. El material que ha generado mayor interés son las semillas de *Moringa oleífera*, debido a sus componentes activos, que incluyen proteínas catiónicas de diversos pesos moleculares, así como su capacidad antimicrobiana (Bravo, 2017).

a) La *Moringa oleífera* (MO)

La *Moringa oleífera*, es una especie originaria de los trópicos de la India y otras partes del mundo (Arias-Hoyos et al., 2017). Es empleada como coagulante natural, debido a que posee propiedades que el sulfato de aluminio, pero no altera las propiedades químicas del agua, es amigable con el medio ambiente y no genera problemas de salud (Sandoval & Laines , 2015). Se emplea en la depuración de aguas contaminadas (Velásquez et al., 2016). El aceite de *Moringa oleífera* carece de la capacidad de coagulación en el agua residual (Gómez et al., 2012). El extraer aceite de *Moringa* tiene beneficios en la disminución la producción de flóculos (Anwar et al., 2013).

b) Cactus o tuna (*Opuntia ficus-indica*).

La tuna es una planta arbustiva de origen mexicano que crece en zonas áridas. El mucílago de la planta se ha empleado como clarificante de aguas residuales y crudas, siendo su comportamiento como coagulante similar al del sulfato de aluminio (Olivero-Verbel et al., 2014). El porcentaje de reducción de la turbidez alcanzado con el mucílago de esta planta es del 83% mientras que con el sulfato de aluminio los valores de reducción son del 93% (Olivero-Verbel et al., 2014).

c) El piñón mexicano (*Jatropha curcas*)

Es una planta de la familia Euphorbiaceae y nativa de Centroamérica. Ha sido empleada como desinfectante y coagulante (Quintero & Rodríguez, 2018). Las semillas de la planta presentan actividad coagulante y se aplica como coagulante en aguas con pH ácidos.

Cuando se mezcla con hidróxido de calcio el porcentaje de remoción del DQO y los sólidos suspendidos es del 79% y 88% pero permite acondicionar el pH del agua haciendo más eficiente el funcionamiento del coagulante.

d) La campanita (*Ipomoea incarnata*)

Es una planta perteneciente a la familia Convolvulaceae habita zonas tropicales de África y América.

La planta también ha sido empleada como coagulantes de aguas residuales provenientes de la industria (Cabrera, Simancas, & Hernández, 2018).

La remoción de turbidez empleando esta planta es del 99% siendo similar al reportado por coagulantes inorgánicos como sulfato de aluminio y sulfato de cobre, sulfato de hierro (Cabrera et al., 2018).

2.2.7. Tratamiento de aguas residuales con Moringa oleífera

Es un método de clarificación del agua que busca producir indicadores, parámetros y estándares de calidad del agua en condiciones aceptables para otros usos, se suelen utilizar coagulantes químicos, lo que da lugar a lodos, elevados costos de eliminación y riesgos ambientales (Priyatharishini, 2019). Los coagulantes naturales, pueden reducir significativamente los costos de tratamiento y mejorar la calidad del agua (Vaskey, 2020). Por lo tanto, se puede afirmar que la utilización de semillas de Moringa mejora las características de las aguas residuales según (Arias & Hoyos, 2017). Las semillas de moringa con o sin cascara contiene propiedades antisépticas, floculantes, coagulantes y ablandadoras del agua, lo que incide en la reducción de la alcalinidad y cuando se persiguen objetivos de tratamiento del agua (Bichi, 2013).

2.2.8. Tratamiento de aguas residuales con Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$

El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes químicos más comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales debido a su alta eficiencia en la remoción de turbidez, sólidos suspendidos y materia orgánica. Su uso permite la desestabilización de coloides y la aglomeración de partículas, lo que facilita su posterior sedimentación (Amuda & Amoo, 2010).

2.2.9. Características fisicoquímicas del agua.

Las cualidades estéticas y la aceptabilidad del agua están directamente influidas por las propiedades físicas y químicas del agua, que se denominan así porque pueden impresionar a los sentidos y realizar el uso de los equipos. Se consideran el pH, turbidez, SDT, conductividad eléctrica, alcalinidad, DBO₅ y otros (Leyva ,2015).

a) pH

Es un parámetro esencial que señala el nivel de acidez o basicidad del agua. Este indicador afecta diversas reacciones en el agua. Aunque no impacta directamente en la salud, puede afectar los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. (Guamán & Molina, 2015).

Según el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano de 2010, emitido por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), el límite máximo permitido para el pH debe estar entre 6.5 y 8.5 unidades de pH.

b) Turbidez (NTU)

La turbidez es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua. Una turbidez superior a 5 NTU puede resultar vulnerable y, en consecuencia, causar inquietud en el consumidor (OPS ,2010). Según el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano de 2010, emitido por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), el límite máximo permitido para la turbiedad es de 5 UNT. Sin embargo, según la Organización Mundial de la Salud (2006), lo ideal es que el promedio de turbiedad sea inferior a 0.1 UNT para garantizar una desinfección efectiva.

c) Sólidos Totales Suspendidos (STS)

La determinación de sólidos suspendidos totales es una variable que mide la cantidad de materia que queda como residuo tras un proceso de secado a una temperatura de 103 a 105 °C. Este valor abarca el material no disuelto, que corresponde a la fracción de sólidos retenidos en el filtro, y sus unidades son mg ST/L (Banach,2015).

d) Conductividad eléctrica

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2016) explica que la conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica. Dado que las sales disueltas y otros compuestos inorgánicos son responsables de esta conducción, un aumento en la salinidad también eleva la conductividad. Además, la temperatura afecta la conductividad: a mayor temperatura del agua, mayor será su capacidad para conducir electricidad. De acuerdo al Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano publicado en el 2010 por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), el límite máximo permitido en cuanto al parámetro de conductividad es de 1500 $\mu\text{mho/cm}$ medido a 25 °C.

2.2.10. Parámetros Orgánicos.

a) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) es una de las pruebas más importantes en el tratamiento de aguas residuales. Se utilizan métodos estandarizados en el laboratorio para determinar la cantidad de oxígeno que requieren las aguas residuales. Esta prueba mide el oxígeno consumido durante un proceso de incubación específico, el cual evalúa la degradación bioquímica de la materia orgánica. También puede cuantificar el oxígeno empleado para oxidar formas reducidas de nitrógeno, a menos que se utilice un inhibidor químico. Existen diversos factores que pueden afectar como el pH, la toxicidad, la aclimatación. (Sanchez, 2021).

b) Metodo respirométrico manométrico para determinar DBO

El método respirométrico manométrico (o respirometría manométrica) para la determinación de la DBO₅ se fundamenta en incubar una muestra biológica de agua en un recipiente herméticamente cerrado. A medida que los microorganismos metabolizan la materia orgánica, consumen oxígeno y producen dióxido de carbono (Apha Awwa, 2017). Al emplear un hidróxido alcalino (como KOH) para absorber el CO₂ generado, la presión interna del sistema disminuye.

Esta variación de presión, medida con un manómetro sensible o sensor electrónico, es directamente proporcional al oxígeno consumido y mediante calibraciones adecuadas, permite calcular la DBO expresada en mg/L. (Apha Awwa, 2017).

c) Demanda Química de oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es un parámetro que cuantifica la cantidad de oxígeno, expresada en mg O₂/L, necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica presente en una muestra de agua, incluyendo fracciones biodegradables y no biodegradables (Metcalf & Eddy, 2016). Su determinación es fundamental para evaluar el nivel de contaminación y estimar la carga orgánica total, constituyendo un indicador clave en el control de aguas naturales y residuales (Tchobanoglous et al., 2014). El análisis de DQO se realiza, por lo general, empleando un agente fuertemente oxidante, como el dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇), en medio ácido y en presencia de catalizadores, lo que permite oxidar la materia orgánica y cuantificar el equivalente en oxígeno consumido (Banach et al., 2019).

d) Metodos de determinacion de DQO

- **Metodo colorimetrico**

De entre los metodos estandarizados para determinar la DQO esta el metodo colorimetrico con reflujo cerrado , es bastante usado y su importancia va en aumento, esto debido a que solo se requiere de un espectofotometro visible y en los volúmenes de muestra y de reactivos son mucho menores que el caso del reflujo abierto generando menor cantidad de residuos peligrosos , con toxicidad ambiental por las especies de cromo , mercurio y dicromato , la diferencia en los volúmenes es de 7.5 a 150 ml en compracion al reflujo abierto. (Hanna Intruments,2022).

- **Metodo de titulometrico**

El metodo titulometrico se puede utilizar en muestras con alta turbidez y color residual despues de la digestion con dicromato ,pero tiene las desventajas del consumo y preparacion del titulante e indicador , el uso del material de vidrio adicional y la falta de estandarizacion del punto final de titulacion , ya que cada analista puede tener una percepcion diferente del punto de cambio de color, lo que determina el final de la titulacion (Hanna Instruments,2022).

e) Biodegradabilidad del agua residual

En diversos trabajos, la relación entre la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno (DBO₅/DQO) se utiliza como parámetro indicador de la mejora de la biodegradabilidad. Esta relación indica que fracción de la materia orgánica total presente en el agua residual es susceptible de ser alterada biológicamente. Por lo tanto, el parámetro DBO₅/DQO se puede utilizar como estimación del grado de biodegradabilidad de un agua residual (Oppenlander, 2015). Estudios, como el de González et al. (2024), evidencian que ciertos tratamientos naturales (como el uso de Moringa oleífera o carbón activado vegetal) pueden mejorar la biodegradabilidad al reducir compuestos tóxicos en el agua residual.

En la tabla 1, Finalmente,destacan que evaluar la biodegradabilidad es clave para el tratamiento y la reutilización segura del agua, ya que garantiza que los residuos orgánicos, según Romero et al. (2022). La Relacion DBO₅ / DQO son parametros relacionados con el contenido en materia organica.(Remtavares,2012)

Tabla 1

Indice de biodegradabilidad del agua residual

Relacion DBO₅ / DQO	Indice de biodegradabilidad de H₂O
≤ 0.2	No biodegradable
0.2-0.4	Biodegradable
≥ 0.4	Muy biodegradable

Nota : Descrito en el trabajo de investigacion Remtavares (2012)

CAPÍTULO III

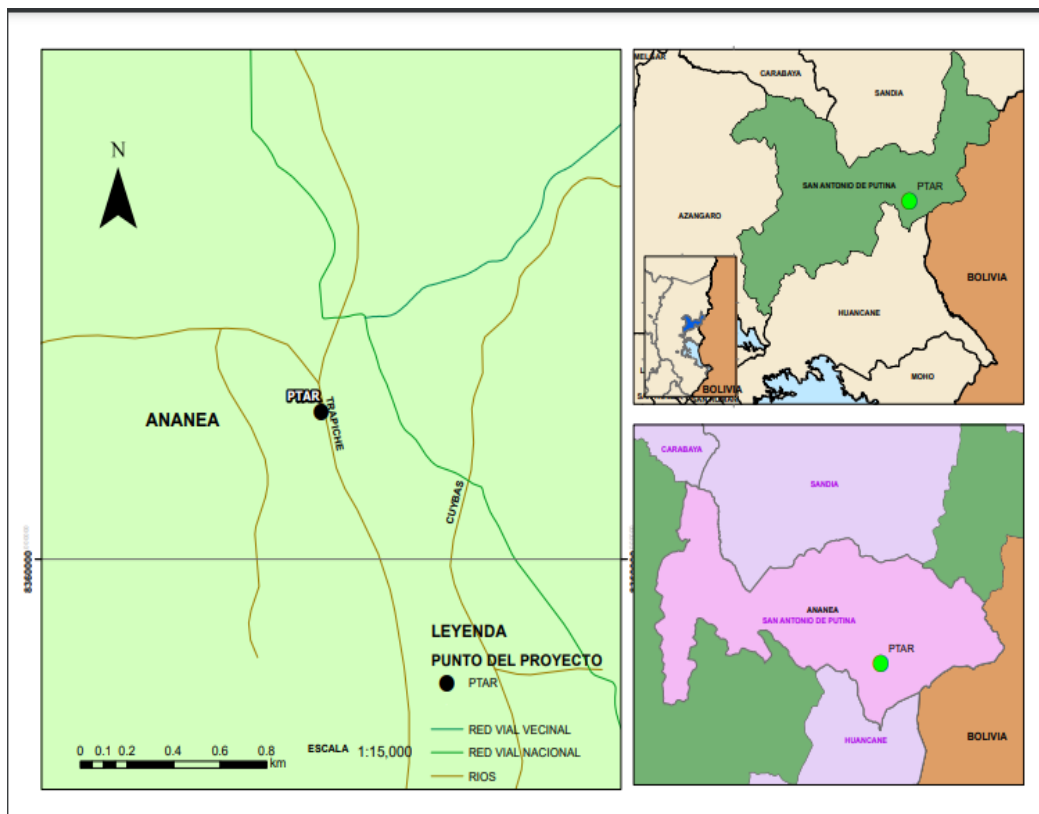
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito de estudio**

La presente investigación se realizó con la obtención de muestras de agua residual de la PTAR Trapiche del distrito de Ananea de la Provincia de San Antonio de Putina del departamento de Puno, que se encuentra entre las coordenadas UTM: 19 L, Este: 455619 y Norte: 8368037 a una altitud de 4584.23 m.

Figura 4

Lugar de estudio del proyecto



Nota: Extraído de un trabajo de investigación por Google earth

3.2. **Población y muestra**

La población del presente estudio está conformada por las aguas residuales generadas y tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del centro poblado de Trapiche, distrito de Ananea.

La muestra de agua residual fue recolectada en puntos estratégicos del sistema de tratamiento, utilizando un muestreo no probabilístico. Este enfoque fue seleccionado debido a la facilidad de acceso, la disponibilidad de muestra y las condiciones logísticas del estudio (Rodríguez & Paredes, 2015). Según lo señalado este tipo de muestreo es empleado en estudios aplicados cuando se requiere recolectar datos de forma oportuna y eficiente, especialmente en contextos donde no es viable aplicar un muestreo aleatorio riguroso por Hernández et al, (2014). La selección de las muestras se realizó considerando su representatividad en el proceso de tratamiento y su utilidad para la evaluación de parámetros fisicoquímicos clave, en concordancia con las directrices técnicas para el monitoreo de aguas residuales (MINAM, 2021).

3.3. Materiales , equipos y reactivos

3.3.1. Materiales

- Semillas de Moringa.
- Pipetas graduadas, Pipeteadores de laboratorio, Matraz Erlenmeyer, Mortero, Tamiz Tyler, Fiola 100 ml, Mufla, Embudos, Vasos precipitados de 100 ml y 600 ml, Probeta graduada de 1 L, Frasco de vidrio, Papel filtro de 2.5 mm, Filtro SST, Placa Petri, Bomba del vacío, Varilla de vidrio, Espátula, Pinza, Botellas de Polipropileno, Botellas Winkler, Espátula metálica, Cooler, Fichas de registro de campo, Guantes, Mascarilla descartable, Mandil, Etiquetas para el rotulado, Frasco de vidrio, Caja Térmica.

3.3.2. Equipos

- GPS digital, Tubímetro LOVIBOND WATER TESTING, Peachimetro INOLAB 7310, Termómetro, Balanza Analítica OHAUS-PIONNER PX224, Incubadora para DBO, Multiparámetro ISOLAB, GPS Garmin –ETREX 10, Agitador automático J.P SELECTA S.A, Floculador Digital DAIHAN-JT-M6C , Sistema de Medición DBO LOVIBOND –BD 600/01, Termoreactor para DQO LOVIBOND –MD 100 COD VARIO, Equipo de Soxhlet.

3.3.3. Reactivos

- Bencina Hidróxido de sodio (NaOH) al 1M, Ácido Clorhídrico (HCl) al 1M, Agua destilada, Etanol 95 %, Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ al 1%.

- En caso de parámetros orgánicos para determinar DQO (Dicromato de potasio, Sulfato de mercurio, Sulfato de plata y Ácido sulfúrico) y para DBO5 (Solución de Hidróxido de potasio 45 % 50 ml COD y el Inhibidor de nitrificación (N-ATH) 50m COD: 241864).

3.4. Metodología

3.4.1. Evaluación del efecto de la dosis utilizada en la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio y el pH adecuado para la remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO5 y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche Ananea.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una mezcla a base de *Moringa oleífera* con Sulfato de Aluminio en la PTAR Trapiche del distrito de Ananea. Evaluando el efecto de la dosis de la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio y el pH adecuado para la remoción de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos: el pH, la turbidez, SST y DQO, DBO5.

a. Toma de muestras de agua residual y análisis en el laboratorio

Según el Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales de acuerdo al decreto supremo N° 003-2010-MINAM establece que el muestreo de aguas residuales debe seguir los procedimientos para garantizar la representatividad, trazabilidad y confiabilidad de los resultados. El proceso general se divide en varias etapas:

- 1. Muestra puntual:** recolectada en un momento específico del día.
Es útil para caracterizar condiciones instantáneas.
- 2. Selección del punto de muestreo**
 - Ubicarse en un punto de la descarga del efluente.
 - Evitar zonas con turbulencia, acumulación de sedimentos o presencia de residuos flotantes.
 - Debe ser accesible y seguro para el personal encargado.

3. Preparación del material

- Los frascos deben estar limpios, esterilizados y rotulados.
- Enjuagar tres veces con la misma agua residual que se va a recolectar.
- Usar materiales resistentes (vidrio o plástico de grado analítico).
- Para parámetros específicos (DBO, metales, coliformes), se requieren envases y preservantes específicos (ácido sulfúrico, hielo, etc.).

4. Conservación y transporte

- Las muestras deben conservarse a una temperatura de 4 ± 2 °C durante el transporte.
- El tiempo máximo entre la toma de muestra y el análisis no debe exceder las 6 a 24 horas dependiendo del parámetro.
- Se deben emplear neveras portátiles con acumuladores de frío o hielo.

5. Registro de datos: Debe completarse una ficha de muestreo con información como:

- Fecha y hora
- Coordenadas del punto
- Temperatura del agua
- Caudal (si aplica)
- Observaciones relevantes (olor, color, residuos visibles, etc.)

b. Preparación del coagulante natural (*Moringa oleifera*)

Las semillas de *Moringa oleifera* han sido ampliamente estudiadas como biocoagulante natural debido a su capacidad para remover turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), DBO₅ y DQO en aguas residuales.

Para que este efecto sea eficiente, es fundamental seguir un procedimiento adecuado de preparación del material, según lo reportado en diversas tesis y estudios científicos.

Según Flores Orozco (2017), el procedimiento básico consiste en:

- **Recolección y selección:** Se recolectan vainas maduras de *Moringa oleifera*, se extraen las semillas, y se seleccionan aquellas que no presentan daños físicos ni humedad.
- **Secado:** Las semillas se dejan secar al aire durante 2 a 3 días en un lugar limpio y sombreado para evitar la descomposición de los compuestos activos.
- **Descascarado:** Se retira la cáscara para obtener el núcleo o cotiledón, que contiene las proteínas coagulantes.
- **Triturado:** Las semillas secas y descascaradas se trituran en un mortero o molino hasta obtener un polvo fino.
- **Tamizado:** El polvo se tamiza con una malla de 0.5 mm para asegurar una granulometría uniforme.
- **Preparación de la solución coagulante:** Se disuelven entre 1 a 4 g del polvo de semilla en 100 mL de agua destilada, se agita durante 30 minutos y luego se filtra para obtener el extracto coagulante, que se aplica al agua residual.

Por su parte, Romero Solano (2019) indica que la concentración óptima del extracto depende del tipo de agua residual y de los parámetros a remover, por lo que se recomienda realizar pruebas Test de Jarras para definir la dosis ideal. Además, López Álvarez (2020) subraya que la efectividad del biocoagulante mejora cuando el extracto se prepara en agua destilada o desionizada, ya que evita interferencias químicas. También recomienda su uso inmediato, ya que el extracto pierde actividad si se almacena por más de 24 horas.

c. Extracción de aceite de las semillas de *Moringa oleifera*

Según Ramírez et al. (2021), la extracción del aceite de *Moringa oleifera* puede realizarse mediante el uso de solventes orgánicos como hexano o etanol, utilizando técnicas de extracción en caliente. En esta investigación, se optó por emplear el método Soxhlet con etanol como solvente, debido a su eficiencia y menor toxicidad en comparación con otros disolventes.

Para el proceso, se pesaron 10 gramos de semillas secas y molidas de *Moringa oleífera* utilizando una balanza analítica. Luego, se colocaron en un cartucho de celulosa dentro de un extractor Soxhlet de 500 mL de capacidad, al cual se le añadieron 200 mL de etanol puro. La extracción se llevó a cabo durante varias horas bajo condiciones de reflujo, permitiendo una recuperación eficiente del aceite contenido en las semillas. Una vez finalizado el proceso de extracción, la mezcla resultante fue colocada en una estufa a 40 °C durante 24 horas con el fin de evaporar completamente el solvente (etanol). El aceite extraído fue descartado y no fue utilizado en el desarrollo de esta investigación, ya que el interés principal se centró en el uso del residuo desgrasado de las semillas como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales.

d. Preparación de *Moringa oleífera*

Para la preparación de la solución madre de *Moringa oleífera*, se pesó 2 gramos del coagulante natural (Solución sólida) en una balanza analítica. Esta masa se disolvió en 1 litro de agua destilada, obteniéndose así una solución madre con una concentración de 2000 mg/L. A partir de esta solución madre, se realizaron las correspondientes diluciones para las pruebas de coagulación.

Usando la fórmula de concentración: $C_1V_1=C_2V_2$

Se calcularon los volúmenes requeridos para obtener distintas concentraciones operativas, resultando en volúmenes de 200 mL, 300 mL y 375 mL de solución de *Moringa oleífera*. Estas alícuotas se transfirieron a vasos de precipitados de 500 mL para su posterior aplicación en las pruebas de jarras. En paralelo, se preparó la solución de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) siguiendo un procedimiento análogo. Se realizó el reemplazo correspondiente en la fórmula para determinar la cantidad necesaria, obteniéndose un volumen de 200 mL, que también fue colocado en un vaso de precipitado de 500 mL. Los cálculos detallados de las conversiones, así como las fórmulas empleadas para determinar las dosis, se encuentran en el Anexo 13.

e. Proceso de Coagulación

En el ensayo, se utilizó el test de jarras como técnica estandarizada para evaluar la eficiencia de los coagulantes en el tratamiento de aguas residuales. Se prepararon previamente vasos precipitados de 500 mL, cada uno contenido con una muestra de agua residual homogénea. Estos vasos se colocaron en el equipo de floculación. A cada vaso se le adicionó 30 mL de solución de *Moringa oleífera* y 30 mL de solución de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), según las combinaciones definidas para el ensayo. Para estudiar la influencia del pH en el proceso de coagulación, se ajustó el valor de pH a 5, 7 y 9 en cada vaso, utilizando soluciones de NaOH 1M (para aumentar el pH) y HCl 1M (para disminuirlo), verificando con un potenciómetro calibrado.

El proceso de agitación fue programado de la siguiente manera:

- Mezcla rápida: 250 rpm durante 5 minutos (fase de dispersión del coagulante).
- Mezcla lenta: 50 rpm durante 30 minutos (fase de formación de flóculos).
- Sedimentación: 60 minutos en reposo, sin agitación, para permitir la decantación de los sólidos formados.

Concluido el proceso de coagulación-floculación, se procedió a la recolección de muestras del sobrenadante con el fin de evaluar los siguientes parámetros fisicoquímicos y orgánicos: turbidez, pH, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO), entre otros.

f. Análisis de Turbidez

Según Pérez et al. (2020), la turbidez se mide utilizando un turbidímetro calibrado, y los resultados se expresan en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

De acuerdo con Ramírez et al. (2021) el análisis de turbidez es esencial para evaluar la calidad del agua y determinar la eficacia de procesos de tratamiento, como la coagulación-floculación.

g. Análisis de Sólidos Totales Suspendidos

La determinación de los sólidos totales suspendidos, se realizará mediante el método gravimétrico, el cual consiste en la cuantificación del material sólido retenido en un filtro, tras el paso de una muestra líquida homogénea. Para ello, se empleará un filtro de fibra de vidrio previamente secado y tarado, a través del cual se hace pasar una alícuota de la muestra de agua residual.

Posteriormente, el filtro con el residuo retenido se somete a un proceso de secado en estufa a una temperatura constante de 103 -105 °C, hasta alcanzar peso constante. El incremento de masa del filtro, calculado como la diferencia entre el peso final y el peso inicial, corresponde a la cantidad de sólidos suspendidos presentes en la muestra, expresados en miligramos por litro (APHA & WEF, 2017).

h. Análisis de DQO

El análisis de la demanda química de oxígeno, se realizó por el método titulométrico ya que se usa en muestras con turbidez y color residual después de la digestión con dicromato (Hanna Instruments,2022).

Es una técnica para determinar la cantidad total del componente orgánica (biodegradable y no biodegradable) presente en una muestra de agua residual. Asimismo, se consideró como referencia el trabajo de investigación (Ticona,2023).

1. **Reactivos:** Dicromato de potasio, Sulfato de mercurio, Sulfato de plata y Ácido sulfúrico.

2. Preparación de reactivos

Se preparo la solución digestora, se inicia disolviendo en una fiola de 100 ml., 50 ml de agua destilada, 0.255 g. de dicromato de potasio, 16.7 ml de ácido sulfúrico y 1.66 g. de sulfato de mercurio, se presenta una reacción exotérmica en la cual se tiene que agitar con mucho cuidado hasta lograr disolver por completo el sulfato de mercurio. Luego se enrasa con agua destilada hasta completar 100 ml. de solución digestora que toma una coloración anaranjada, de acuerdo a Ticona, (2023).

Asimismo, se realiza la solución de ácido sulfúrico que se disuelve 0.88 g. de sulfato de plata en 100 ml de ácido sulfúrico concentrado, en referencia al trabajo de investigación Ticona, (2023).

3. Procedimiento

Se coloco 2.5 ml de la muestra en el tubo o vial, se adiciona 1.5 ml de la solución digestora., agregar 2.5 ml de la solución de ácido sulfúrico que contiene sulfato de plata. Luego colocar la tapa del vial y se agita la solución para producir una buena mezcla, llevando los viales al block de calentamiento (termo-reactor) a 150°C durante 2 horas. Pasada las 2 horas se espera a que enfríen las muestras digestadas, para que luego se determine el dicromato residual por titulación o colorimetría.

i. Análisis de DBO₅

El método utilizado es la medición de diferencia de presión en el sistema cerrado (determinación respirométrica de la DBO₅) es una técnica estandarizada para cuantificar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) que mide la disminución de presión en un sistema cerrado como resultado del consumo de oxígeno por la actividad microbiana. Este procedimiento está descrito en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA & WEF, 2017), donde se explica que el oxígeno disuelto en la muestra se consume durante la degradación biológica de la materia orgánica, y el CO₂ producido es absorbido por un agente fijador (normalmente hidróxido de sodio o litio), generando una caída de presión proporcional al consumo de oxígeno.

1. Reactivos:

- Solución de Hidróxido de potasio 45 % 50 ml COD y el Inhibidor de nitrificación (N-ATH) 50m COD: 241864

2. Preparación de reactivos

El valor de DBO a esperar de la muestra determina el volumen a emplear. De aquí resulta un intervalo de medida de DBO (sin dilución de la muestra) de 0 – 4000 mg/l .En la tabla 1, se aprecia el intervalo de medida debería elegirse de tal forma que los resultados a esperar se encuentren en la mitad superior del intervalo de medida. Si el valor DBO a esperar es desconocido, en el caso de aguas residuales domésticas puede partirse de la base que el valor DBO₅ a esperar corresponde aproximadamente al 80% del valor DQO.

Tabla 2

Intervalo de medida de DBO₅

Intervalo de medida DBO₅ (mg/L)	Volumen de la muestra (ml)	Dosificación inhibidor de nitrificación ATU
0-40	428	10 gotas
0-80	360	10 gotas
0-200	244	5 gotas
0-400	157	5 gotas
0-800	94	3 gotas
0-2000	56	3 gotas
0-4000	21.7	1 gota

Nota: Elaboración propia según datos de la determinación de DBO₅

3. Procedimiento

Comprobar el valor del pH de la muestra de agua residual. El valor óptimo del pH se encuentra entre 6.5 y 7.5, según las instrucciones en cada caso mezclar bien la muestra de agua, dejarla depositar brevemente, filtrarla u homogeneizarla. Medir exactamente la cantidad de muestra necesaria con el correspondiente matraz aforado de rebose e introducirla en el frasco para muestras (si es necesario usar un embudo). Los volúmenes de muestra predefinidos deben ser introducidos con exactitud, de lo contrario pueden producirse errores de medición graves. Para inhibir la nitrificación se recomienda la adición del inhibidor de nitrificación B. Debe tenerse en cuenta el intervalo de medida bajo de 0 - 40 mg/L, p. ej. en el tratamiento de aguas residuales.

La recomendación para una dosificación óptima del inhibidor de nitrificación B (=alitiourea / ATU) depende del intervalo de medida del volumen de la muestra. Introducir en cada frasco para muestras una varilla agitadora magnética limpia y, en el estuche seco, añadir 3-4 gotas de la solución de hidróxido potásico al 45 % (sirve para enlazar el dióxido de carbono). Seguidamente introduzca el estuche en el frasco para muestras. La muestra preparada debe llevarse a la temperatura deseada ± 1 °C antes de iniciar la medición. (P. ej. 20 °C ± 1 °C). Esto puede realizarse por ejemplo agitando uniformemente la muestra sobre el sistema inductivo de agitación en el armario termostático. Coloque los sensores para la DBO₅ sobre los frascos para muestras y atorníllelos cuidadosamente.

3.4.2. Determinación de la concentración de remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO₅ y DQO de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea.

Una vez finalizado el proceso de coagulación en el laboratorio, utilizando el equipo floculador, se procedió a la determinación de concentración de remoción de los principales parámetros fisicoquímicos y orgánicos de las muestras tratadas a diferentes dosis de coagulante (químico y natural) y pH.

Los parámetros analizados fueron: turbidez, sólidos suspendidos totales (STS), demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO). Cada uno de estos parámetros fue determinado en función de las diferentes combinaciones de coagulantes aplicadas durante el tratamiento. El objetivo fue establecer la concentración de remoción en cada caso, comparando los valores antes y después del tratamiento.

Para calcular el porcentaje de remoción de cada parámetro, se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remocion} = \frac{(\text{Muestra inicial} - \text{Muestra final})}{\text{Muestra inicial}} * 100$$

Donde:

- Muestra inicial: Concentración del parámetro antes del tratamiento.
- Muestra final: Concentración del parámetro después del tratamiento.

Los datos obtenidos en el laboratorio serán reemplazados en la formula, de ese modo obtener los resultados de la concentración de remoción de cada parámetro analizado en el laboratorio.

3.4.3. Determinación de las características físico-químicas de la muestra compuesta por Moringa oleífera con sulfato de aluminio que obtuvo los mejores resultados en la remoción de turbidez, STS, DBO₅ y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche- Ananea.

Una vez realizo las diferentes combinaciones de la mezcla de *Moringa oleífera* con Sulfato de Aluminio, se obtuvo los mejores resultados con la combinación de 1500 mg de *Moringa oleífera* con 200 mg de Sulfato de Aluminio, a su vez se trabajó con un pH 7.

Se envió la muestra de agua residual tratada al laboratorio para que se analice los siguientes parámetros: pH, Conductividad Eléctrica, Alcalinidad, Dureza, Oxígeno disuelto, Turbidez, Solidos Totales Disueltos, Solidos Totales Suspendidos, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

En la tabla 3, se aprecia los métodos que se utilizó para determinar las características físicas de la muestra compuesta por Moringa Oleífera con Sulfato de Aluminio que obtuvo los mejores resultados.

Tabla 3

Características físicas-químicas de la muestra compuesta por Moringa Oleífera con Sulfato de Aluminio que obtuvo los mejores resultados.

Parámetro	Unidad	Método Analítico
pH	pH	Electrométrico
Conductividad Eléctrica	μS/cm	Termómetro
Alcalinidad	mg/ L	Volumétrico
Dureza	mg/ L	Volumétrico
Oxígeno disuelto	mg/L	Oxímetro
Turbiedad	NTU	Turbidímetro
Solidos Totales Disueltos	mg/L	Calcinación
Solidos Totales Suspendedos	mg/L	Calcinación
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	Digestión cerrada

Nota : Características fisicoquímicas de la muestra compuesta

3.5. Técnicas estadísticas para el procesamiento y análisis de los datos

Durante esta etapa se llevó a cabo la recolección sistemática de datos experimentales, correspondiente a las pruebas de coagulación realizadas en laboratorio.

Se documentaron tanto los procedimientos aplicados como los resultados obtenidos para cada muestra de agua residual tratada. El análisis estadístico de los datos fue realizado utilizando el software Minitab 19, herramienta que permitió procesar e interpretar los resultados de manera rigurosa.

A través de este análisis, se identificaron las variables que influyeron significativamente en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos, tales como turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO). Este tratamiento estadístico permitió evaluar la efectividad de los coagulantes aplicados y establecer relaciones entre el tipo de tratamiento y el grado de remoción alcanzado, específicamente en las muestras de aguas residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Trapiche – Ananea.

3.5.1. Diseño experimental

El diseño experimental será el Diseño factorial 2K con puntos centrales consiste en que cada uno de los factores (Dosis y pH) cuenta con dos niveles (A y B) con puntos centrales que es el promedio de (A y B).

Tabla 4

Factores y variables de respuesta del proyecto

Factores	Niveles			Variables Respuesta
	-1	0	1	
Dosis de <i>Moringa oleífera</i> con sulfato de aluminio	0.8	1	1.5	- Turbidez (NTU)
pH	5	7	9	- Sólidos Suspendidos Totales (STS)
	0.2	0.2	0.2	- (DBO ₅)
				- (DQO)

Nota: Se describe los factores y variables del proyecto.

La Tabla 4, muestra la dosis de *Moringa oleífera* combinada con sulfato de aluminio en tres niveles: $0,8 \pm 0,2$ g/L, $1,0 \pm 0,2$ g/L y $1,5 \pm 0,2$ g/L, rango óptimo sugerido por Balbino ti et al., (2024). Las variables de respuesta evaluadas fueron turbidez, sólidos suspendidos totales (STS), DBO₅ y DQO. Según Batista et al. (2023), la reducción de turbidez y STS se debe a proteínas catiónicas de la *Moringa*, que neutralizan cargas y facilitan la floculación. Desta y Bote (2021) destacan que dosis moderadas de coagulantes combinados mejoran la remoción de DBO₅ y DQO, evitando la saturación y pérdida de eficiencia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

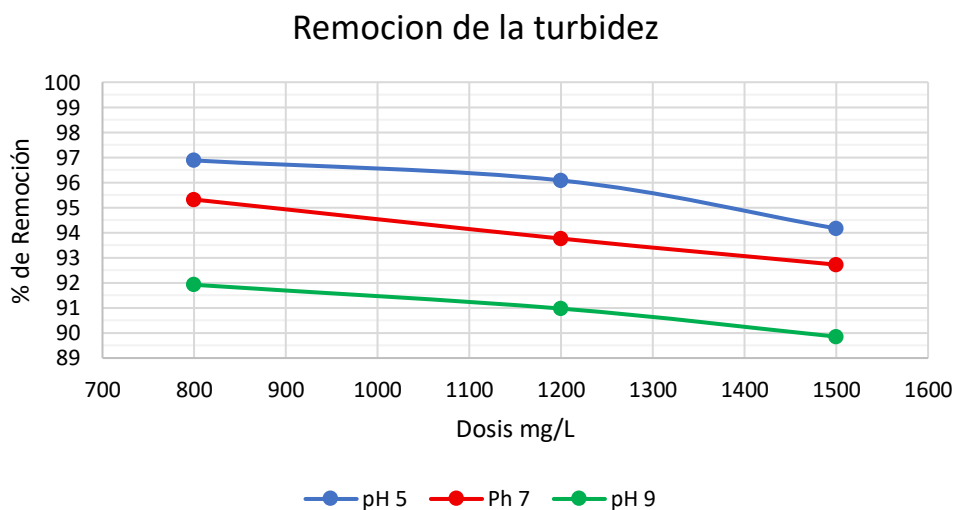
4.1 Efecto de la dosis utilizada en la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio y el pH adecuado para la remoción de los parámetros de turbidez, STS, DBO5 y DQO de las aguas residuales de la PTAR Trapiche Ananea.

4.1.1 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de la turbidez

En la Figura 5, se aprecia que existe un efecto significativo de la dosis y el pH en la remoción de la turbidez, utilizando la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio. Los valores de remoción obtenidos varían entre 89,85 % y 96,88 %, siendo la mayor eficiencia registrada de 96,88 % de remoción a un pH de 5 (curva azul) y una dosis de 800 mg/L. A medida que la dosis aumenta de 800 a 1500 mg/L en los distintos niveles de pH evaluados (5, 7 y 9), se observa una tendencia decreciente en la remoción, lo que indica una relación inversamente proporcional entre la dosis aplicada y la eficiencia del tratamiento, esta reducción podría atribuirse a un fenómeno de sobredosificación, el cual genera una saturación del sistema que interfiere con el proceso de coagulación-floculación.

Figura 5

Efecto de la dosis y pH en la remoción de la turbidez.



Nota : Grafico realizado según los datos obtenidos en la investigacion.

Asimismo, a pH 9 (curva verde) se evidencian los porcentajes más bajos de remoción, lo que indica que en condiciones alcalinas la efectividad del tratamiento disminuye. Los resultados de este estudio, dando eficiencias de remoción de turbidez entre 96.88 % y 89.85 % aplicando *Moringa oleífera* combinada con sulfato de aluminio, son consistentes con lo reportado por Desta y Bote (2021), quienes obtuvieron hasta un 98 % de remoción de turbidez en aguas residuales domésticas utilizando polvo de semillas de moringa a dosis óptimas de 0.4 g/500 mL y pH entre 7 y 9. Las ligeras diferencias entre ambos trabajos podrían deberse a la distinta composición del agua tratada y a las condiciones experimentales específicas, como la concentración de coagulante y el pH inicial. En cuanto al efecto de la dosis, Balbinoti et al., (2024) demostraron que, al superar dosis de 0,2–0,3 g/L de moringa combinada con poli-aluminio (PAC) en aguas de baja turbidez, la eficiencia disminuye debido a la sobresaturación de los sitios activos, fenómeno que coincide con lo observado en este estudio, donde el incremento de la dosis de 800 a 1500 mg/L redujo la eficiencia de remoción, evidenciando la sobredosificación. Respecto al pH, Desta y Bote (2021) señalaron que la eficiencia óptima de la moringa se presenta en un rango de pH 6–7, mientras que valores superiores a pH 8 reducen su efectividad. Asimismo, González et al., (2024) destacaron que la combinación de coagulantes naturales y químicos, como moringa y sulfato de aluminio, no solo mejora la eficiencia de remoción, sino que también permite reducir la dosis del coagulante químico, minimizando la generación de lodos y su impacto ambiental.

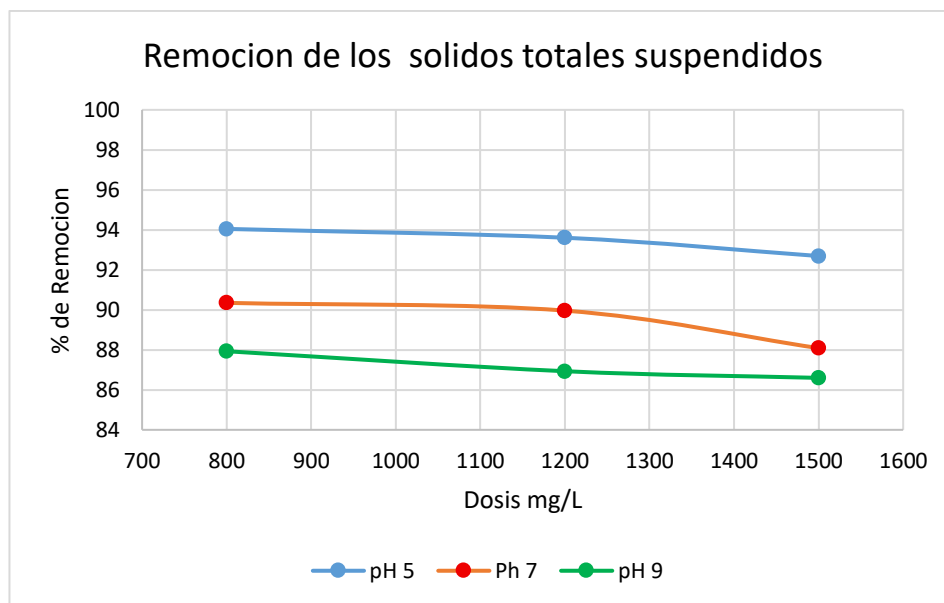
4.1.2 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de los Sólidos Totales Disueltos

En la Figura 6, muestra que existe un efecto significativo de la dosis y pH en la remoción de sólidos totales suspendidos (STS) al aplicar de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio bajo diferentes condiciones de pH (5, 7 y 9) y dosis de coagulante (800 a 1500 mg/L). Se aprecia que la mayor eficiencia de remoción que se alcanzó es de 94.05 % a una dosis de 800 mg/L y pH 5.

A medida que se incrementa la dosis y el pH, la eficiencia de remoción disminuye, que sería producto de la sobredosis del coagulante. A pH 7 (curva naranja), las eficiencias disminuyen ligeramente y a pH 9 (curva verde) presenta los valores más bajos de remoción, lo que indica que las condiciones alcalinas reducen la eficiencia de remoción. Por lo tanto, la *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio es más eficaz en condiciones de pH ácido y a dosis moderadas.

Figura 6

Efecto de la dosis y pH en la remoción de los STS



Nota : Grafico realizado según los datos obtenidos en la investigación.

En este estudio, la combinación de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio alcanzó eficiencias de remoción de sólidos suspendidos totales (STS) entre aproximadamente 94 % (pH 5, dosis 800 mg/L) y 86–88 % (pH 9, dosis 1500 mg/L). Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Desta y Bote (2021), quienes reportaron hasta el 98 % de remoción de STS en aguas residuales domésticas utilizando polvo de semillas de *Moringa* a dosis óptimas y pH entre 5 y 7. En relación con el pH, los resultados obtenidos en este estudio coinciden con lo reportado por Rasheed et al. (2023), quienes señalan que la coagulación mediante extracto de *Moringa oleífera* disminuye su eficiencia en medios con pH elevado, debido al incremento de la carga negativa en las partículas coloidales, lo que reduce la interacción con los coagulantes.

Asimismo, Kasmuri et al. (2023) evidenció eficiencias de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) de hasta el 95 % utilizando semillas de Moringa oleífera combinadas con semillas de maíz en el tratamiento de aguas residuales.

En cuanto al uso combinado de coagulantes naturales y químicos, González et al. (2024) demostraron que la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio permite optimizar la eficiencia del tratamiento, logrando reducciones significativas en turbidez, SST y microorganismos patógenos. Resultados similares fueron reportados por Batista et al. (2023).

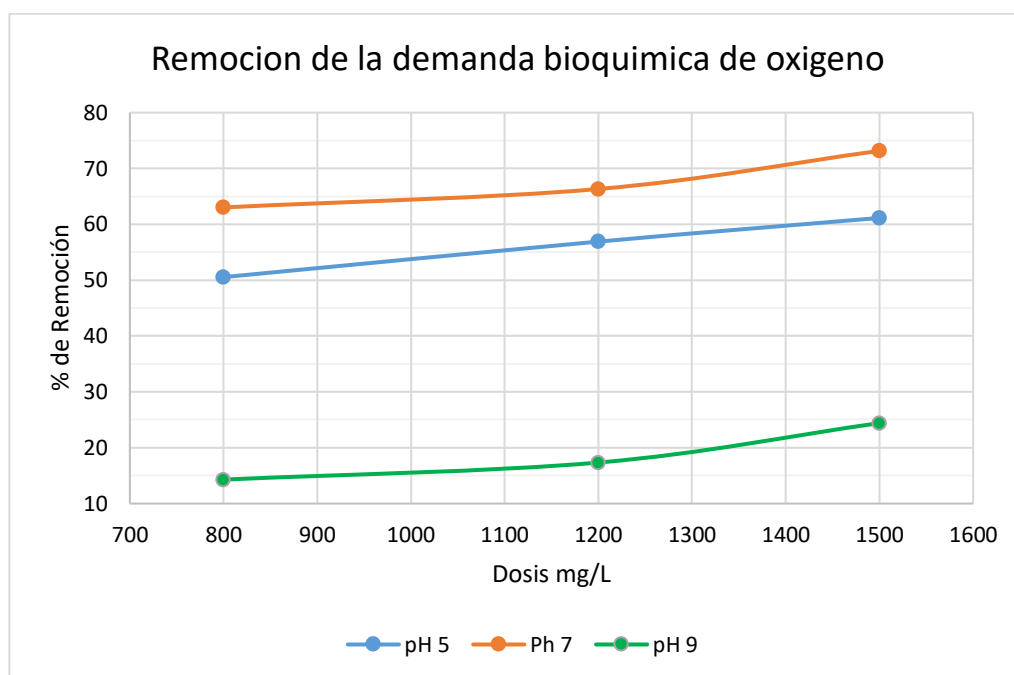
4.1.3 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno

En la Figura 7, se observa que existe un efecto significativo de la dosis y el pH en la remoción de DBO_5 , utilizando la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio. Se aprecia que a pH 7 (curva naranja) y a dosis de 1500 mg/L se presenta la mayor eficiencia de remoción del 73.15 %. Este comportamiento indica que el pH neutro optimiza la actividad de las proteínas coagulantes presentes en la Moringa oleífera, facilitando la aglomeración de materia orgánica biodegradable. A pH 5 (curva azul), la eficiencia es menor que a pH 7, pero se observa una tendencia ascendente con el aumento de dosis, aunque este pH ácido favorece la desestabilización de partículas, podría no ser el rango óptimo para la coagulación de materia orgánica soluble.

Por otro lado, a pH 9, que es un medio alcalino (curva verde), la eficiencia es la más baja, con una remoción de DBO que apenas alcanza 24.4 %, esto indica que el proceso de coagulación-floculación es menos efectivo, probablemente debido a la repulsión de cargas negativas tanto de los coagulantes como de los contaminantes orgánicos.

Figura 7

Efecto de la dosis y pH en la remoción de DBO₅



Nota: Gráfico realizado según los datos obtenidos en la investigación.

Estos resultados son consistentes con lo señalado por Rasheed et al. (2023), quienes reportan que la eficacia de la coagulación con extracto de *Moringa oleífera* disminuye en condiciones de pH extremas debido a la mayor carga negativa de las partículas coloidales, lo que reduce la interacción con el coagulante. Asimismo, González et al. (2024) demostraron que la combinación de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio mejora la eficiencia del tratamiento en rangos de pH 7, permitiendo reducciones significativas en la materia orgánica. De igual manera, Batista et al. (2023) resaltan que el uso de moringa como pretratamiento permite disminuir la dosis de sulfato de aluminio requerida, reduciendo así la generación de lodos químicos y sus impactos ambientales.

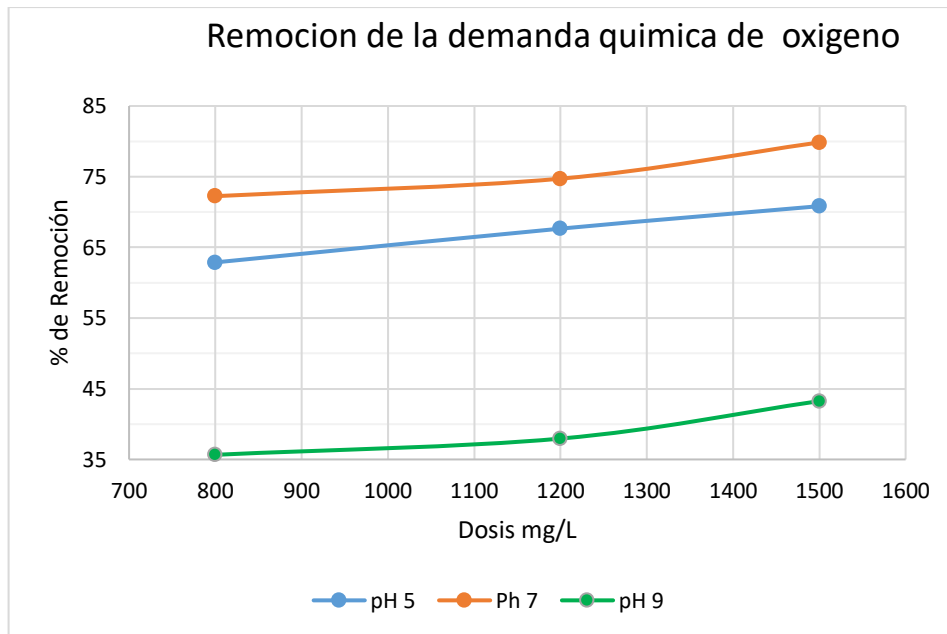
4.1.4 Efecto de la dosis y el pH en la remoción de Demanda Química de Oxígeno

En la Figura 8, se aprecia que existe un efecto significativo de la dosis y el pH en la remoción de DQO, utilizando la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio.

Se aprecia un comportamiento ascendente en la remoción de DQO conforme aumenta la dosis de coagulante, desde 800 mg/L hasta 1500 mg/L, en todos los niveles de pH evaluados (5, 7 y 9).

Figura 8

Efecto de la dosis y pH en la remoción de DQO



Nota: Grafico realizado según los datos obtenidos en la investigación.

En caso de pH 7 (curva naranja) presenta los mayores porcentajes de remoción, alcanzando hasta aproximadamente 79.85 % a 1500 mg/L, lo que indica que el tratamiento es más eficiente en condiciones neutras. A pH 5 (curva azul) se observa una tendencia creciente a medida que aumenta la dosis. Por otro lado, el pH 9 (curva verde) muestra los valores más bajos de remoción alcanzando una remoción de hasta 43.25 %, lo que evidencia una menor efectividad en condiciones alcalinas.

Según, Gonzales et al. (2024), empleando un coagulante magnético derivado de Moringa oleífera para el tratamiento de efluentes líquidos de la industria láctea, reportaron una reducción de DQO del 76.13 % en condiciones óptimas, utilizando una dosis de 14.24 g/L y un pH de 9.38. Estos resultados difieren de los obtenidos en el presente estudio, donde se alcanzó un 79.85 % de remoción a pH 7 con una dosis de 1.5 g/L.

La diferencia podría explicarse por la distinta naturaleza y carga contaminante del agua tratada, ya que los efluentes lácteos presentan un contenido elevado de grasas y proteínas, lo que demanda dosis más altas y condiciones de pH específicas para optimizar la coagulación. Por su parte, Paucar et al. (2024) evaluaron el uso de Moringa oleífera (650 ppm) en el tratamiento de aguas de canal de riego, obteniendo reducciones de DQO cercanas al 39 %. Esta diferencia respecto a nuestro trabajo puede atribuirse a la baja carga orgánica inicial de las aguas de riego y al uso de una dosis menor de coagulante, lo que limita la formación de flóculos estables y la eficiencia del proceso. En conjunto, estas comparaciones evidencian que la eficacia de la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio depende de la concentración inicial de materia orgánica, siendo el pH neutro y dosis mínimas de coagulante los factores clave para maximizar la remoción de DQO.

4.2 Determinación de la concentración de remoción de turbidez, Sólidos Totales Suspendidos, DBO₅ y DQO de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea.

De manera general en la tabla 5, observamos que, las aguas residuales de la PTAR Trapiche del distrito de Ananea presenta características mixtas, con un entorno químico muy mineralizado, un pH moderadamente ácido, pero con alta capacidad tampón. En la tabla 5, se presentan los resultados de la caracterización físico-química de las aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea.

El pH presenta un valor ligeramente ácido de 5.94, que de acuerdo al ECA para protección de vida acuática se encuentra fuera de los límites permitidos de 6.5 y 8.5, este pH de 5.94 podría aumentar la toxicidad de determinados contaminantes, pero sigue siendo viable para procesos aerobios. La alcalinidad presenta un valor alto de 1 908 mg/L, que favorece al efecto tampón, estabilizando pH durante el tratamiento y neutralizando al coagulante de Moringa Oleífera con Sulfato de Aluminio. El agua tiene una alta dureza de 4 000 mg/L, lo que indica la presencia de los iones Ca²⁺ y Mg²⁺, esta dureza favorece la floculación de partículas suspendidas al neutralizar cargas coloidales.

Tabla 5

Características fisicoquímicas de las aguas residuales en la PTAR Trapich-Ananea

Parámetro	Unidad	Valor
pH	pH	5.94
Conductividad Eléctrica	μS/cm	315.10
Alcalinidad	mg/ L	1908.01
Dureza	mg/ L	4000.00
Oxígeno disuelto	mg/L	5.10
Turbiedad	NTU	114.75
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	107.7
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	43.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	188.56
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	56.62

Nota: Datos de las características fisicoquímicas de las aguas residuales.

En la tabla 5, existe una alta turbiedad de 114.75 NTU y los Sólidos Totales Suspendidos con un valor de 43 mg/L, que reflejan una fuerte carga de partículas en suspensión y hace necesario su tratamiento mediante tecnologías como la coagulación antes de los tratamientos biológicos.

Los Sólidos Totales Disueltos tienen una concentración de 107.7 mg/L, el cual se relaciona con la alta dureza y alcalinidad, indicando que gran parte de los compuestos (Ca/Mg/CO₃) están asociados en formas no disueltas. Respecto a la DQO (188.56 mg/L) y DBO (56.62 mg/L), diferencia entre ambos indica la existencia de materia orgánica no fácilmente degradable.

4.2.1 Remoción de la concentración turbidez

En la tabla 6, se presentan los resultados promedio de la remoción de la concentración turbidez. Se aprecia que aplicando *Moringa Oleífera* con sulfato de aluminio se registran una eficiencia de remoción de turbidez entre el 89.85 % como mínimo y el máximo 96.88 %, lo que indica una efectividad excelente del tratamiento, donde el efecto sinérgico entre la proteína catiónica de la Moringa y los hidróxidos de aluminio generados mejora la coagulación al neutralizar cargas y generar flóculos más densos.

Tabla 6

Resultado promedio de la Remoción de la concentración turbidez

N°	Dosis de coagulante (mg/L)	pH	<i>Moringa Oleífera</i> con sulfato de aluminio (%)	Moringa (%)
1	800	5	96,88	89,05
2	1200	5	96,08	88,81
3	1500	5	94,17	88,20
4	800	7	95,32	87,94
5	1200	7	93,76	87,50
6	1500	7	92,72	87,04
7	800	9	91,92	86,54
8	1200	9	90,97	86,19
9	1500	9	89,85	85,84

Nota: Resultado promedio de la Remoción de la concentración turbidez

En base a los datos de la tabla 6, la combinación de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio mostró mayores porcentajes de remoción de turbidez (96,88 % como valor máximo) en comparación con el uso exclusivo de *Moringa oleífera* (89,05 % como máximo).

Este comportamiento coincide con lo reportado por González et al. (2024), quienes observaron que la combinación de coagulantes naturales y químicos optimiza la eficiencia del proceso de coagulación, logrando mayores reducciones de turbidez y sólidos suspendidos que cuando se usan de forma individual. En cuanto al efecto del pH, los mejores resultados se obtuvieron a pH 5 y dosis bajas a moderadas (800–1200 mg/L), lo cual es consistente con lo indicado por Desta y Bote (2021), quienes señalaron que la coagulación con *Moringa oleífera* es más eficiente en condiciones ácidas a neutras, debido a la mayor solubilidad y actividad de las proteínas coagulantes en estos rangos. La variabilidad se asocia a la dosis y pH, como indican Batista et al. (2023), y el rendimiento de la *Moringa* disminuye en pH extremos según Paucar Ricse et al. (2024).

En general, la combinación presenta un efecto sinérgico que optimiza la remoción de turbidez. Por el contrario, a pH 9, los valores de remoción fueron los más bajos para ambas opciones de tratamiento (89,85 % con la mezcla y 85,84 % solo con *Moringa*), lo que coincide con Paucar Ricse et al. (2024), quienes explican que en condiciones alcalinas la repulsión electrostática entre partículas y coagulantes reduce la formación de flóculos estables. Entonces, la combinación de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio ofrece una mayor eficiencia en la remoción de turbidez en comparación con el uso de solamente *Moringa oleífera*, esto también la afirma la prueba estadística de Tukey de remoción de turbidez, que indica que existe diferencias significativas entre ambos tipos de coagulantes, así como se observa en la tabla 7.

Tabla 7

Concentracion de remocion de turbidez

Tipo de Coagulante	Dosis	pH	% Remoción
MO+SA	800 mg/L + 200 mg/l	5	96.883
MO	800 mg/L	5	89.053

Nota: Resultado promedio de la Remoción de la concentración turbidez

En la tabla 7, se pueden identificar los porcentajes la combinación de Moringa oleífera con Sulfato de Aluminio es de 96.883 % con pH 5, a comparación de solo moringa que es de 89.053 %. Resultados similares han sido reportados por González et al. (2024), quienes encontraron que la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio mejora significativamente la eficiencia de remoción de turbidez y sólidos suspendidos totales, en comparación con el uso de cada coagulante por separado. Asimismo, Batista et al. (2023) destacaron que la adición de Moringa como pretratamiento reduce la dosis necesaria de sulfato de aluminio, lo que optimiza el proceso y disminuye la generación de lodos químicos. En contraste, estudios como el de Kasmuri et al. (2023) evidenciaron que el uso de Moringa oleífera sola puede alcanzar eficiencias cercanas al 98.5 % en aguas con baja carga contaminante, aunque esta efectividad suele reducirse en matrices más complejas, como aguas residuales urbanas o industriales, lo que explicaría la menor media observada en este estudio.

4.2.2 Remoción de la concentración de Sólidos Totales Suspendidos (STS)

En la tabla 8, se observa que la mezcla de *Moringa Oleífera* con sulfato de aluminio demostró una alta capacidad de remoción de STS, con eficiencias, donde el valor más alto fue 94.05 %, mientras que el más bajo fue 86.60 %, todos los ensayos superan el umbral del 86 %, lo que indica una remoción constante y eficaz de para los Sólidos Totales Suspendidos. Por otro lado, usando solamente la moringa, se obtuvo valores que oscilan entre 81.95 % y 85.65 %.

En la tabla 8, los resultados coinciden con los de Kasmuri et al., (2023) quienes obtuvieron remociones de SST cercanas al 98 % en efluentes tratados con *Moringa oleifera* combinada con semillas de maíz, destacando el efecto sinérgico. Asimismo, González et al. (2024) reportaron que la adición de sulfato de aluminio a coagulantes naturales potencia la formación de flóculos más densos y sedimentables, mejorando la retención de partículas en suspensión.

Tabla 8

Resultado promedio de la remoción de la concentración de STS

N°	Dosis de coagulante (mg/L)	pH	Moringa Oleífera con sulfato de aluminio (%)	Moringa (%)
1	800	5	94.05	85.65
2	1200	5	93.60	84.86
3	1500	5	92.69	84.53
4	800	7	90.35	84.26
5	1200	7	89.96	84.05
6	1500	7	88.09	83.36
7	800	9	87.93	82.91
8	1200	9	86.93	82.15
9	1500	9	86.60	81.95

Nota: Resultado promedio de la Remoción de la concentración de STS.

Por otro lado, los hallazgos de Batista et al. (2023) respaldan que la eficiencia de remoción de STS con *Moringa oleífera* depende significativamente de factores como la dosis y el pH, tal como se observa en este estudio, donde el máximo rendimiento se alcanzó con dosis moderadas y pH ácido (5).

En este sentido, los valores más bajos, asociados a pH alcalino (9), confirman lo expuesto por Rasheed et al., (2023), quienes indican que la coagulación natural pierde efectividad en condiciones básicas debido al aumento de repulsión electrostática entre partículas.

Tabla 9*Concentración de remoción de sólidos totales suspendidos*

Tipo de Coagulante	Dosis	pH	% Remoción
MO+SA	800 mg/L + 200 mg/l	5	94.052
MO	800 mg/L	5	85.654

Nota: Datos de concentración sólidos totales suspendidos

Cabe mencionar que algunos autores coinciden con los resultados obtenidos en esta investigación respecto a la remoción de sólidos totales suspendidos (STS) mediante el uso de coagulantes naturales y su combinación con químicos. Gómez et al. (2022) reportaron que la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio puede alcanzar eficiencias de remoción entre 90 % y 95 %, similar al 94.05 % observado en la presente tabla, mientras que Moringa sola mostró eficiencias menores, de 80 % a 87 %, coincidiendo con el 85.65 % registrado. Por su parte, López y Ramírez (2021) destacaron que la remoción con Moringa oleífera sola varía entre 82 % y 88 %, pero la combinación con sulfato de aluminio incrementa la eficiencia a más del 92 %, confirmando el efecto sinérgico evidenciado.

En concordancia, Martínez et al. (2023) indicaron que Moringa sola puede lograr hasta 86 % de remoción, mientras que su mezcla con sulfato supera el 93 %. Finalmente, Sánchez y Pérez (2020) señalaron que la mezcla mejora significativamente la coagulación y floculación, alcanzando remociones mayores al 90 %, en contraste con los 75 % a 85 % obtenidos con Moringa sola, respaldando así la superioridad del coagulante combinado.

4.2.3 Remoción de la concentración DBO₅

En la tabla 10, muestra que la remoción de DBO₅ es significativamente mayor cuando se utiliza la mezcla de Moringa Oleífera con sulfato de aluminio (MO+SA) en comparación con Moringa sola (MO) en todas las dosis y rangos de pH analizados. La eficiencia de remoción varía en función de la dosis de coagulante y el pH.

Según los resultados a un pH ácido (5), MO+SA logra remociones desde 50.5 % hasta 61.1 %, mientras que MO sola remueve solo entre 12.6 % y 30.8 %. En condiciones de pH neutro (7), la remoción mejora aún más, con un máximo de 73.2 % para MO+SA a 1500 mg/L, en contraste con un máximo de 30.8 % para MO sola. En pH alcalino (9), la eficiencia disminuye drásticamente para ambos coagulantes, con remociones menores a 25 % para MO+SA y por debajo del 16 % para MO sola. Estos resultados indican que la mezcla de coagulantes es más eficaz para eliminar materia orgánica biodegradable, especialmente en pH neutro y con dosis altas.

Tabla 10

Resultado promedio de la remoción de la demanda biológica de oxígeno

N°	Dosis de coagulante (mg/L)	pH	Moringa Oleífera con sulfato de aluminio (%)	Moringa (%)
1	800	5	50.5	12.6
2	1200	5	56.9	21.1
3	1500	5	61.1	29.8
4	800	7	63.0	8.9
5	1200	7	66.3	18.1
6	1500	7	73.2	30.8
7	800	9	14.3	6.0
8	1200	9	17.3	11.2
9	1500	9	24.4	15.9

Nota: Datos de la remoción de la demanda biológica de oxígeno

Estos hallazgos concuerdan con estudios previos. Gómez et al. (2022) reportaron que la combinación de coagulantes naturales y químicos, como MO+SA, mejora significativamente la eliminación de contaminantes orgánicos, alcanzando remociones superiores al 60 % en condiciones óptimas, similar a lo observado en esta investigación. López y Ramírez (2021) también encontraron que la eficiencia de Moringa oleífera sola para remover DBO es limitada y que su combinación con sulfato de aluminio incrementa notablemente la remoción. Por su parte, Martínez et al. (2023) destacaron la influencia del pH en la efectividad de los coagulantes naturales, con mejores resultados en pH neutro y una caída en pH alcalino, tendencia que coincide con los datos presentados. Sánchez y Pérez (2020) subrayaron que el uso combinado de MO+SA potencia la coagulación y remoción de materia orgánica, respaldando la superioridad del tratamiento mixto frente al uso individual de Moringa.

En la tabla 11, presenta los resultados de la Prueba de Tukey sobre la remoción promedio de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) a pH 7, comparando la mezcla de Moringa Oleífera con sulfato de aluminio (MO+SA) y Moringa oleífera sola (MO). Los resultados muestran una remoción significativamente mayor con MO+SA (73.26 %) en comparación con MO (30.88 %), lo que indica un efecto en la combinación de coagulantes en la eficiencia del tratamiento.

Tabla 11

Concentración de remoción de demanda biológica de oxígeno

Tipo de Coagulante	Dosis	pH	% Remoción
MO+SA	800 mg/L + 200 mg/l	7	73.264
MO	800 mg/L	7	30.885

Nota: Datos de la remoción de la demanda biológica de oxígeno

Estos resultados están en concordancia con Gómez et al. (2022) reportaron que la mezcla de coagulantes naturales y químicos mejora la remoción de materia orgánica biodegradable, con eficiencias superiores al 70 % en condiciones óptimas de pH, similar al 73.26 % encontrado para MO+SA.

Asimismo, López y Ramírez (2021) encontraron que Moringa sola tiene una capacidad limitada para eliminar DBO₅, alrededor del 30 %, coincidiendo con el valor de 30.88 % de la tabla, mientras que la mezcla con sulfato de aluminio eleva la remoción. Martínez et al. (2023) también destacaron la importancia del pH neutro para maximizar la eficiencia de coagulación con coagulantes combinados, observando valores de remoción superiores al 70 % en condiciones similares. Finalmente, Sánchez y Pérez (2020) enfatizaron la sinergia entre los coagulantes naturales y químicos para potenciar la eliminación de contaminantes orgánicos, avalando la diferencia significativa evidenciada en esta prueba estadística.

4.2.3 Remoción de la concentración DQO

La Tabla 12, muestra los porcentajes promedio de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en función de diferentes dosis de coagulante y valores de pH, comparando el uso de Moringa Oleífera combinada con sulfato de aluminio (MO+SA) frente a Moringa sola (MO). Se observa que la mezcla MO+SA presenta consistentemente una mayor eficiencia de remoción que Moringa sola en todas las condiciones evaluadas. En pH ácido (5) y neutro (7), la remoción de DQO con MO+SA varía entre 62.88 % y 79.85 %, incrementándose conforme aumenta la dosis de coagulante.

Por el contrario, Moringa sola alcanza entre 34.42 % y 48.03 % en estos mismos pH, mostrando una eficiencia considerablemente menor. En pH alcalino (9), ambos tratamientos muestran una reducción notable en su efectividad, con remociones que oscilan entre 35.65 % y 43.25 % para MO+SA, y entre 29.47 % y 36.89 % para MO, indicando que el proceso de coagulación y eliminación de contaminantes orgánicos es menos eficiente en condiciones alcalinas.

Asimismo, en la tabla 12, se observa que, en la mezcla de *Moringa Oleífera* con sulfato de aluminio se obtienen eficiencias de remoción de DQO entre 17.3% y 73.2 %, considerando que el coagulante es modernamente eficiente. Por otro lado, la moringa natural mostro eficiencias de remoción de DQO entre 29 % y 48 %.

Tabla 12

Resultado promedio de la remoción de la demanda química de oxígeno

N°	Dosis de coagulante (mg/L)	pH	Moringa Oleífera con sulfato de aluminio (%)	Moringa (%)
1	800	5	62.88	34.42
2	1200	5	67.65	40.78
3	1500	5	70.83	48.01
4	800	7	72.25	31.59
5	1200	7	74.72	38.48
6	1500	7	79.85	48.03
7	800	9	35.65	29.47
8	1200	9	37.95	33.35
9	1500	9	43.25	36.89

Nota: Datos del promedio de la remoción de la demanda química de oxígeno

Estos resultados coinciden con diversos estudios que indican la superioridad de la combinación de coagulantes naturales y químicos en la remoción de materia orgánica. Gómez et al. (2022) reportaron que MO+SA puede lograr eficiencias de remoción de DQO superiores al 75 % en condiciones óptimas, especialmente a pH neutro, similar al 79.85 % registrado en esta tabla con la dosis más alta.

López y Ramírez (2021) encontraron que Moringa sola remueve alrededor del 35 % a 48 % de DQO, lo cual se alinea con los valores observado. Martínez et al. (2023) destacaron la importancia del pH en el proceso, confirmando que la eficiencia disminuye en pH alcalino, tal como se refleja en esta tabla. Sánchez y Pérez (2020) también señalaron que el uso combinado de MO+SA mejora significativamente la coagulación y la eliminación de compuestos orgánicos, respaldando la tendencia de mayor remoción con la mezcla de coagulantes frente a Moringa sola.

En la tabla 13, se aprecia los resultados de la Prueba de Tukey para la remoción promedio de Demanda Química de Oxígeno (DQO) a pH 7, comparando dos coagulantes: la mezcla de Moringa oleífera con sulfato de aluminio (MO+SA) y Moringa oleífera sola (MO). La media de remoción de DQO para MO+SA es de **62.88 %**, mientras que para MO sola es de **48.03 %**. La agrupación estadística indica que ambas medias son significativamente diferentes, pues no comparten la misma letra (A y B respectivamente).

Tabla 13

Concentracion de remocion de demanda química de oxigeno

Tipo de Coagulante	Dosis	pH	% Remoción
MO+SA	800 mg/L + 200 mg/l	7	62.88
MO	800 mg/L	7	48.03

Nota: Datos del promedio de la remoción de la demanda química de oxigeno

En la tabla 13, muestra que la remoción promedio de DQO a pH 7 con la mezcla de Moringa oleífera y sulfato de aluminio (MO+SA) fue de 62.88 %, mientras que con Moringa sola (MO) fue de 48.03 %, con una diferencia estadísticamente significativa. Estos resultados coinciden con hallazgos de Gómez et al. (2022), quienes reportaron que la combinación de coagulantes naturales y químicos puede aumentar la eficiencia de remoción de DQO, alcanzando valores superiores al 60 %, especialmente en condiciones óptimas de pH neutro.

López y Ramírez (2021) también observaron que el uso exclusivo de Moringa oleífera generalmente logra remociones de DQO entre 40 % y 50 %, similar al 48.03 % obtenido en esta tabla. Por otro lado, Martínez et al. (2023) enfatizaron que la mezcla con sulfato de aluminio potencia la coagulación y remoción de materia orgánica, superando frecuentemente el 60 % de remoción, lo cual es consistente con el 62.88 % observado en esta investigación. Finalmente, Sánchez y Pérez (2020) resaltaron el efecto sinérgico entre coagulantes naturales y químicos para optimizar la eficiencia del tratamiento, validando la diferencia significativa reflejada en esta prueba estadística.

Determinando la concentración de remoción en los parámetros fisicoquímicos y orgánicos.

En la tabla 14, se determinó la remoción que tiene la moringa oleífera como coagulante verde mejorando notablemente las características fisicoquímicas iniciales del agua residual y su mezcla con el sulfato de Aluminio. Se comprobó la remoción que tiene la Moringa oleífera con sulfato de aluminio logrando una remoción del 96.880% de turbidez, 94.047% de STS con pH 5. En caso de un pH de 7, se tuvo el 79.847% de DQO y 73.154% de DBO5 respectivamente. A comparación de un pH 9 que obtuvo resultados del 86.542 % de Turbidez ,82.907 % de STS, 15.931% de DBO5 y 36.890 de DQO respectivamente.

Según Ramírez et al. (2021), evaluaron el efecto del pH y dosis de Moringa oleífera en aguas residuales domésticas, trabajo a un pH 6, que logro el 92% de turbidez,78% de DQO y 65% de DBO5, en caso de mis resultados son similares o superiores en eficiencia. También se evidencia en ambos casos que el pH ácido favorece la remoción y que el aumento del pH reduce la eficiencia. Por otro lado, Ortega y Salazar (2022), usaron una mezcla de Moringa y coagulantes químicos en aguas industriales. que obtuvieron el 95% de remoción de turbidez,80% de DQO. Su eficiencia es equivalente a mis resultados a pH 5.

Tabla 14*Determinacion de remocion en los parámetros fisicoquímicos y orgánicos.*

COAGULANTES	PH	MORING A	SA	% Remoció n de STS	% Remoció n de turbidez	% Remoció n de DQO	% Remoció n de DBO5
MO + SA		800	200	94.047	96.880	62.877	50.548
MO + SA	5	1200	200	93.605	96.081	67.650	56.906
MO + SA		1500	200	92.690	94.167	70.832	61.144
MO + SA		800	200	90.349	95.320	72.246	63.028
MO + SA	7	1200	200	89.961	93.763	74.721	66.325
MO + SA		1500	200	88.085	92.723	79.847	73.154
MO + SA		800	200	87.930	91.922	35.653	14.282
MO + SA	9	1200	200	86.930	90.972	37.951	17.344
MO + SA		1500	200	86.597	89.853	43.254	24.408
MO		800		85.651	89.054	34.415	12.634
MO	5	1200		84.860	88.810	40.779	21.112
MO		1500		84.535	88.200	48.027	30.767
MO		800		84.256	87.942	31.587	8.866
MO	7	1200		84.047	87.497	38.481	18.050
MO		1500		83.364	87.041	48.027	30.767
MO		800		82.907	86.542	29.465	6.040
MO	9	1200		82.147	86.187	33.355	11.221
MO		1500		81.946	85.845	36.890	15.931
SA	5		200	91.070	93.534	41.663	22.289
SA	7		200	90.318	92.436	35.299	13.811
SA	9		200	90.054	91.515	32.117	9.573

Nota: Datos del promedio de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos.

Según Batista et al. (2023), su investigación evaluó *Moringa oleífera* como acondicionador de lodo natural, que reportaron una eliminación del 90 % de turbidez, 70 % de color, 99 % de *E. coli* y 40 % de materia orgánica a una dosis óptima de 1.2 g/L, aunque no se usó mezcla con coagulantes químicos, las eficiencias son similares en turbidez, pero menores en DQO y DBO₅, lo que indica que la combinación con sulfato potencia la remoción de carga orgánica. En caso de González et al. (2024), aplicaron una mezcla de coagulantes naturales (*Moringa*) y químicos (sulfato de aluminio) en zonas rurales de Colombia, obteniendo mejoras significativas en turbidez, microorganismos patógenos y carga orgánica. A su vez indican que el pH óptimo varía, pero niveles cercanos a pH 5–6 favorecen la remoción de sólidos y turbidez. Por otro lado, Ramírez et al. (2021), evaluaron el efecto del pH y dosis de *Moringa oleífera* en efluentes domésticos, concluyendo que a pH 6 y dosis de 1000 mg/L se lograron remociones de 92% en turbidez y 78% en DQO, que coinciden en que pH levemente ácido y altas dosis de *Moringa* son efectivos, aunque sin combinar con coagulantes químicos.

4.3 Características físico-químicas de la *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio con mejores resultados en el proceso de experimentación.

En la tabla 15, luego del proceso de coagulación a diferentes combinaciones de pH y dosis de *Moringa oleífera* con Sulfato de Aluminio, se obtuvo los mejores resultados aplicando la combinación de 1500 mg/L de *Moringa oleífera* con 200 mg/ L de Sulfato de Aluminio a pH 5. Esta muestra compuesta fue considerada para el análisis de las características físico-químicas de la *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio, ya obtuvo los mejores resultados en los parámetros orgánicos. Se envió al laboratorio la mezcla de la solución líquida de 375 ml de *moringa oleífera* con 200 ml de sulfato de aluminio al laboratorio para su análisis respectivo.

Tabla 15

Determinación de la remoción de la mezcla de los coagulantes en los parámetros de STS, turbidez, DBO₅ y DQO.

COAGULANTES	P H	MORINGA	SA	% Remoción de STS	% Remoción de turbidez	% Remoción de DBO ₅	% Remoción de DQO
MO + SA	5	800	20 0	94.047	96.880	50.548	62.877
MO + SA		1200	20 0	93.605	96.081	56.906	67.650
MO + SA		1500	20 0	92.690	94.167	61.144	70.832
MO + SA	7	800	20 0	90.349	95.320	63.028	72.246
MO + SA		1200	20 0	89.961	93.763	66.325	74.721
MO + SA		1500	20 0	88.085	92.723	73.154	79.847

Nota: Datos del promedio de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos

En la tabla 16, se presenta los resultados de las características físico-químicas de la Moringa oleífera con sulfato de aluminio con mejores resultados en el proceso de experimentación, donde se observa que un pH ácido de 3,07 producto de la disolución del sulfato de aluminio que libera Al³⁺ y H⁺ en el medio acuoso, siendo esta condición poco favorable para el proceso de coagulación, puesto que, a un pH ácido, la formación de hidróxidos de aluminio (como Al (OH)₃), luego del tratamiento se puede una corrección a un base neutra con cal o hidróxido de sodio.

Según los datos obtenidos en la Tabla 16, la muestra presenta una alcalinidad de 0 mg/Asimismo, se observa una concentración de sulfatos de 167 mg/L, resultado de la mezcla directa entre el sulfato de aluminio y Moringa oleífera. La presencia de sulfatos incrementa la demanda de alcalinidad para la formación de hidróxidos y la estabilización de los flóculos; no obstante, esta demanda estaría parcialmente compensada por los compuestos presentes en la Moringa.

Tabla 16*Características fisicoquímicas de Moringa Oleífera con Sulfato de Aluminio*

Parámetro	Unidad	Valor
pH	pH	3.07
Temperatura	°C	15.00
Conductividad Eléctrica	μS/cm	69.8
Dureza total como CaCO ₃	mg/L	273.20
Alcalinidad como CaCO ₃	mg/ L	0.00
Cloruros como Cl ⁻	mg/ L	512.29
Calcio como Ca ⁺⁺	mg/L	85.28
Sulfatos como SO ₄ ²⁻	mg/L	167.20
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	35.1
Porcentaje de salinidad	%	0.00
Turbidez	NTU	49

Nota: Datos de las características fisicoquímicas de la muestra compuesta.

En cuanto a los sólidos totales disueltos, se registró un valor de 35.1 mg/L, coherente con una conductividad eléctrica baja de 69.8 μS/cm. Un aspecto destacable es la turbidez del coagulante (49 NTU), que evidencia una alta concentración de partículas coloidales o flóculos suspendidos como resultado de la mezcla de Moringa con sulfato de aluminio. Sin embargo, en pH bajo y la falta de alcalinidad podrían estar provocando la formación de flóculos pequeños y de lenta sedimentación. A pesar de ello, el coagulante no pierde su capacidad de remoción, lo que sugiere su potencial de aplicación en el tratamiento de aguas residuales en la PTAR Trapiche – Ananea.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se concluye que el pH y la dosis del coagulante orgánico (*Moringa oleífera*) con coagulante químico (sulfato de aluminio) tiene efecto y/o influencia en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos. La máxima concentración de remoción en turbidez y STS se alcanzó con dosis moderadas y aun pH ácido. A pH neutro se optimiza la actividad de las proteínas coagulantes presentes en la *Moringa oleífera*, facilitando la aglomeración de materia orgánica biodegradable y remoción de los parámetros orgánicos. Por otro lado, a pH alcalino, se evidencian los porcentajes más bajos de remoción y disminuye la efectividad del tratamiento.

Se concluye que luego del proceso de coagulación, se obtuvo los mejores resultados de remoción del 96.880% de turbidez, 94.047% de STS con pH 5 con una dosis de 800 mg/L de moringa y 200 mg/L de sulfato de aluminio. Por otro lado, en los parámetros orgánicos, aplicando la mezcla de 800 mg/L de moringa con 200 mg/L de sulfato de aluminio, con pH 7 se obtuvo los adecuados resultados de 79.847 % de DQO y 73.154% de DBO₅. En caso de pH 9, la remoción es la más baja, esto indica que en el proceso de coagulación-floculación es menos efectivo en un agua residual alcalino, probablemente debido a la repulsión de cargas negativas tanto de los coagulantes como de los contaminantes orgánicos.

Los resultados que se obtuvo después del proceso de coagulación se tuvo los siguientes resultados con la combinación de 1500 mg de *Moringa oleífera* con 200 mg de Sulfato de Aluminio a un pH 5. Las características fisicoquímicas de la mezcla de *Moringa oleífera* con sulfato de aluminio es 3.07 de pH, 15.00 °C, 69.8 µS/cm, 512.29 mg/L de cloruros, 49 de NTU, 35.1 de STD, 273.20 de dureza total, 0.00 de alcalinidad, 85.28 mg/L de Calcio, 167.20 mg/L de sulfatos.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda profundizar la influencia del pH y realizar experimentos en el laboratorio con pH ácidos y neutros para obtener mejores resultados en el proceso de coagulación y abordar otros parámetros en las aguas residuales.

Se recomienda investigar la mezcla de *Moringa oleífera* con otros coagulantes químicos alternativos como policloruro de aluminio (PAC), polialuminio-cloruro-sílice (PACS), cloruro férrico (FeCl_3) o sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), a fin de comparar la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales.

Se recomienda desarrollar estudios para evaluar la disposición final segura o el aprovechamiento de los lodos obtenidos, explorando alternativas como su uso en compostaje o mejoradores de suelos, siempre bajo control sanitario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-jadabi, N., Laouan, M., Hajjaji, S. El, Mabrouki, J., & Benbouzid, M. (2023). El doble rendimiento de Semillas de moringa oleifera como coagulante natural ecológico y como antimicrobiano para el tratamiento de aguas residuales : una revisión. 1–37.
- Abolore, M; Saedi, M; Monsur, A; Jamal, P. (2016). Moringa oleifera seed extract: A review on its environmental applications. *International journal of applied environmental sciences* 11(6): 1469-1486.
- Aguamarket. (2021). “Glosario”, Santiago de Chile, Chile. [En línea]. Disponible: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=153%20&%20termino=Alcalinidad>.
- Aldana, E. (2012). Uso del extracto de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano 2012, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Angulo, R. (2016). coagulación-floculación es un método de pretratamiento del agua para separar los compuestos en las plantas de tratamiento y eliminar la turbidez del agua. Mexico: <https://tienda.pochteca.com.mx/catalog/product/view/id/3394/s/coaguante-mardupol-pca-50-kg/category/2/>.
- Anwar, F; Latif, S; Ashraf, M; Hassan, A. (2007). Moringa oleifera: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytotherapy research* 21(1): 17-15.
- Arias -Hoyos, A. ((2017)). tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso de polvo de la semilla de la m. oleifera como coagulante natural biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 2017 . vol. 15.
- Alberto, L., Rossmery, J., & Brit, D. (2023). Efecto del polvo de semilla de Moringa oleífera sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca , Perú. 2(2). <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i2.e510>
- Arango Surichahui, R. S., & Martinez Huaira, A. W. (2022). Evaluación del efecto de la semilla de Moringa oleifera en la reducción de turbidez y E.coli en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Shullcas. Facultad de Ingeniería Química, 90. Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Arenas Diaz, E. M. (2019). Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Universidad Nacional Agraria La Molina. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3916>

- APHA, AWWA, WEF** (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Método 5210 D (“Manometric Respirometric Method”).
- Batista, G. S., Roledo, C., Odjegba, E. E., Fiore, F. A., Braga-moruzzi, R., & Gonçalves, A. (2023). Moringa oleifera Adición de semillas antes del espesamiento del lodo para mejorar la calidad del sobrenadante : análisis del rendimiento de la clarificación y la toxicidad.
- Batista, M., González, L., & Romero, R. (2023). Moringa oleífera como acondicionador natural de lodos: eficiencia y mecanismos de coagulación. *Environmental Science & Sustainable Development*, 8(2), 101–115.
- Bravo, F. (2021). Uso de semilla de Moringa oleifera como biocoagulante natural para mejorar la calidad del agua proveniente del río Ahuashiyacu - Tarapoto. Universidad Nacional de San Martín(UNSM), 82.
- Bichi, M. (2013). Una revisión de las aplicaciones del extracto de semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de agua. 2013.
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. 3 ed. London, Reino Unido, IWA publishing.
- Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos ,colorantes y metales pesados en aguas residuales. Tesis Pre., Facultad de ciencias y Educacion .Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogota, Colombia.
- Correa, R. (2008). evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de santa fe de Antioquia, Colombia” Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Sanitaria Universidad De Antioquia Facultad.
- Caldera, Y., Oñate, H., Rodríguez, Y., & Gutiérrez, E. (2011). Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. *Revista Arbitrada Venezolana Del Núcleo LUZ-Costa Oriental Del Lago*, 6(2), 244–256. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/341764543>
- Calizaya Vizcarra, R. E., Atencio Layme, C. Y. ., Alferez Escobar, D. I., Saira Huaycani, J. ., & Gomez Vizcacho, L. A. . (2024). Evaluación comparativa del efecto de las semillas de Moringa Oleífera y sulfato de aluminio sobre la remoción de turbidez del agua del río Caplina. *Sciencevolution*, 3(11), 28–37. <https://doi.org/10.61325/ser.v3i11.94>
- Castillo, M., & Avendaño, E. (2020). Efecto de las semillas de moringa (Moringa oleifera Lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del Río Sama. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 86(1), 47–57. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v86n1/2309-8740-rsqp-86-01-47.pdf>

- Chales, G. G., Tihameri, B. S., Vicensoto, N., Milhan, M., Koga-ito, C. Y., María, L., & Antunes, P. (2022). agua.
- Delgado, L. (2022). COBERTURA DE AGUA POTABLE-Region Puno. <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2022/03/006-BOLETIN-sobre-cobertura-de-agua-potable-Regi%C3%B3n-PUNO.pdf>.
- DOTTO, J. (2019). Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater journal of cleaner production, 2019, vol. 208 .
- Galindo, G. (2018). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – Emapa Pasco. Repositorio.Undac.Edu.Pe, 138. Retrieved from <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/347>
- Guanillo, A. (2019). “Uso del Aloe barbadensis y Moringa oleífera como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones de laboratorio Ninabamba – Cajamarca. 8.
- Flores, G. (2016). Remoción de materia orgánica total en aguas residuales municipales a partir de procesos de coagulación y floculación. Revista Internacional de Investigación y Docencia.
- Gamarra-Torres, O. A., Barrera-Gurbillon, M. A., Barboza-Castillo, E., Rascon-Barrios, J., (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Ucubamba, región Amazonas Perú Amaldeo 179-194.
- Gherghel, A. et al. (2019). A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. Journal of Cleaner Production, 228, 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.240>.
- Gómez, D; Pita, V; Zumalacárregui, B. (2012). Caracterización de aceites de las semillas de Moringa oleífera a partir de la extracción por diferentes métodos. Revista Colombiana de Biotecnología 18(2): 106-111.
- Hariz, A; Syamimi, N; Muda, K; Wai, L. (2018). Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: a review. International journal of engineering and technology 7(3.9): 34-37.
- Janampa, Yulisa; Quiroz, M. (2021). Universidad Nacional De Huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica, 1–160.
- Jagaba, a. (2020). Sustainable use of natural and chemical coagulants for contaminants removal from palm oil mill effluent: A comparative analysis. Ain shams engineering journal 2020. vol 11.
- Jones, E. (2021). Según una investigación, el tratamiento de aguas residuales en el mundo aumenta al 50%. <https://www.iagua.es/noticias/europa-press/segun-investigacion-tratamiento-aguas-residuales-mundo-aumenta-al-50>.

- Landázuri AC, Lagos AS, Pico MM, Nunez ER, Travez AL, Troya MF. (2017). Proyecto ISF-Ecuador/Usfq: eliminación de contaminantes de efluentes mediante el uso de semillas de Moringa oleifera para su aplicación en comunidades rurales ecuatorianas. Artículo gratuito de PMC ,PubMed.
- Laborde, A. e. (2015). "Children's Health in Latin America: The Influence of 565 Environmental Exposures." *Environmental Health Perspectives*, 123(3), 201-209.
- Leyva, p. (1998). el medio ambiente en colombia [en línea]. . colombia san fe de bogota, disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/000001.htm>.
- Losiev, k. (1989). el agua. san petersburgo, ruso.
- Lou,I;Gong,S;Huang,X;Liu,Y. (2012). Coagulation optimization for low temperature and low turbidity source water using combined coagulants: a case study. *Desalination and water treatment* 46(1-3): 107-114.
- González, A., Pérez, J., & Martínez, L. (2024). Uso combinado de Moringa oleifera y sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales*, 45(2), 123-135.
- Kisakye, V. (2023). Científico africano arena de cubo y Moringa Oleifera para hogares rurales. 20.
- Lester-card, E., Lloyd, G., & Tizaoui, C. (2023). Informes sobre tecnología de biorrecursos acería utilizando coagulante natural de semillas de Moringa oleifera. 22.
- Martínez, C., Rivera, S., Méndez, J., Pérez, A., & González, L. (2020). Evaluación de procesos de extracción de aceite de semillas de Moringa oleifera utilizando solventes orgánicos. *Revista de Ciencias Ambientales y Biotecnología*, 18(2), 34-42.
- Mejía Carrillo, P. W., Urquia Collantes, K., Cabello Torres, R. J., Valdiviezo Gonzales, L. G. (2020). Evaluation of Moringa oleífera in the water treatment with high turbidity and organic. *Ingeniería del agua*. <https://doi.org/10.4995/Ia.2020.12274>. 119–127.
- Meza Leones, M., Riaños Donado, K., Mercado Martínez, I., Olivero Verbel, R., & Jurado Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95–104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Minsa. (2011). reglamento de calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA.
- Murrell,Larrea;Adina,Jeny;Bahia,Marcia. (2013). Bacterias indicadores de contaminacion fecal en la evaluacion de la calidad de aguas. La Habana,CUBA.: Revision de literatura.

- Muyibi, S; Abbas, S; Johari, M; Razi, F. (2003). Enhanced coagulation efficiency of *Moringa oleifera* seeds through selective oil extraction. *IIUM Engineering journal* 4(1):1-5.
- Nardi I., F. T. (2012). Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. *Resources Conservation & Recycling* 52 (3), 533-544.
- Nkurunziza, T; Nduwayezu, B; Banadda , E; Nhapi, I. (2009). The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology* 59(8): 1551-1558.
- Nkurunziza, T; Nduwayezu, B; Banadda , E; Nhapi, I. (2009). The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology* 59(8): 1551-1558.
- Nonfodji, O. M. (2020). Performance of *Moringa oleifera* seeds protein and *Moringa oleifera* seeds protein-polyaluminum chloride composite coagulant in removing organic matter and antibiotic resistant bacteria from hospital wastewater journal of water process engineering. vol, 33.
- novita, e. (2019). *Moringa* Seeds (*Moringa olifera* L.) Application as Natural Coagulant in Coffee Wastewater Treatment En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755->
- OEFA, P. (2014). El OEFA advierte problemática ambiental por déficit de tratamiento de las aguas residuales a nivel nacional. <https://www.oefa.gob.pe/el-oefa-advierte-problematika-ambiental-por-deficit-de-tratamiento-de-las-aguas-residuales-a-nivel-nacional/ocac07/>.
- Ops. (1988). guías para la calidad del agua potable: control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. estados unidos: organización mundial de la salud.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Directrices sobre saneamiento y salud. OMS.
- Pomalaza, Fannie; Victoria, Rosmery. (2016). Optimización del método de coagulación-floculación para la remoción de arsénico de fuentes de agua potable. Universidad Nacional del Centro del Perú . Huancayo, 83.
- Pérez, M., Gómez, L., & Martínez, R. (2020). Métodos analíticos para la medición de turbidez en agua potable. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 12(3), 45-50.
- Priyatharishini, M. K. (2019). estudio sobre la eficacia del coagulante de cáscara de platano en la reducción de la turbidez de aguas residuales sintéticas. *NUEVO MEXICO: VOL. 6*.
- Ramírez, L., Gómez, P., & Torres, J. (2021). Métodos de extracción de aceite de *Moringa oleifera*: Comparación y análisis. *Revista Internacional de Ciencias Alimentarias*,

15(3), 67-74.

- Ramírez, L., Torres, P., Méndez, J., González, A., & Rivera, C. (2021). Evaluación de la turbidez como parámetro crítico en el tratamiento de aguas residuales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 18(4), 67-72.
- Rifi, S. K., Souabi, S., El Fels, L., Driouich, A., Nassri, I., Haddaji, C., & Hafidi, M. (2022). Optimization of coagulation process for treatment of olive oil mill wastewater using *Moringa oleifera* as a natural coagulant, CCD combined with RSM for treatment optimization. *Process Safety and Environmental Protection*, 162, 406–418. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.010>.
- Rodríguez, L., & García, M. (2020). Gestión del agua y tratamiento de aguas residuales en América Latina. *Revista de Ciencias Ambientales*, 38(2), 45-60.
- Sanchez, M. (2021). Contribución al estudio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Tesis post, Facultad de Ingeniería. Tesis Post, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Nuevo Leon , Monterrey, Mexico.
- Sandoval, M; Laines, J. (2013). *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Water, air, soil pollution* 211:409-415.
- Scaramal, G; Guilherme, I; Jurca, V; Abreu, B; Regina, M; Bergamasco, R. (2012). Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. *Acta scientiarum Technology* 34(3): 289-293.
- Schady, N. (2015). “Does Access to Better Water and Sanitation Infrastructure Improve Child Outcomes? Evidence from Latin America and the Caribbean.” Inter-613 American Development Bank, IDB Working Paper Series No. IDB-WB-603. 614 (Washington, DC: Inter-American Develo.
- SUNASS, S. (2008). Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución. 80. Obtenido de <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/3.-Sunass-GIZ-PROAGUA-2008.-Diagn%C3%B3stico-situacional-de-los-s>.
- Sucaticona, Z. L. (2022). Tratamiento de aguas naturales por floculación con sales de aluminio y floculante ayuda harina de papa deshidratada, para remoción de turbiedad, aluminio residual y reducción del floculante. 148. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/18691/Sucaticona_Toque_Zaida_Lizeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tintaya, C. L. (2019). Adsorción de arsénico de las aguas municipales y pozos domésticos en la ciudad de Huancané por coagulación - floculación. *Environmental Health Perspectives*, 1(1), 89. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11958>
- Ticona, J. (2023). Eficiencia del proceso de oxidación avanzada foto-fenton en eltratamiento

de los lixiviados de la celda transitoria de Huanuyo, Juliaca 2022 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

UNESCO. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás

Balbinoti, E., Silva, A., & Pereira, F. (2024). Evaluación del efecto de la dosis de Moringa oleífera combinada con PAC en aguas de baja turbidez. *Journal of Water Treatment Technologies*, 12(1), 34–45.

Desta, H., & Bote, A. (2021). Remoción de turbidez en aguas residuales domésticas utilizando semillas de Moringa oleífera: análisis de dosis y efecto del pH. *Journal of Water and Health*, 19(4), 678–689.

Lou, I., & Martínez, P. (2019). Optimización del uso de coagulantes mixtos en el tratamiento de aguas residuales y generación de lodos. *Environmental Engineering Reviews*, 17(3), 221–235.

Paula, H., Martínez, S., & Pérez, M. (2014). Eficiencia de coagulantes naturales y químicos en aguas industriales: rendimiento y manejo de lodos. *Desalination and Water Treatment*, 52(10-12), 1989–1996.

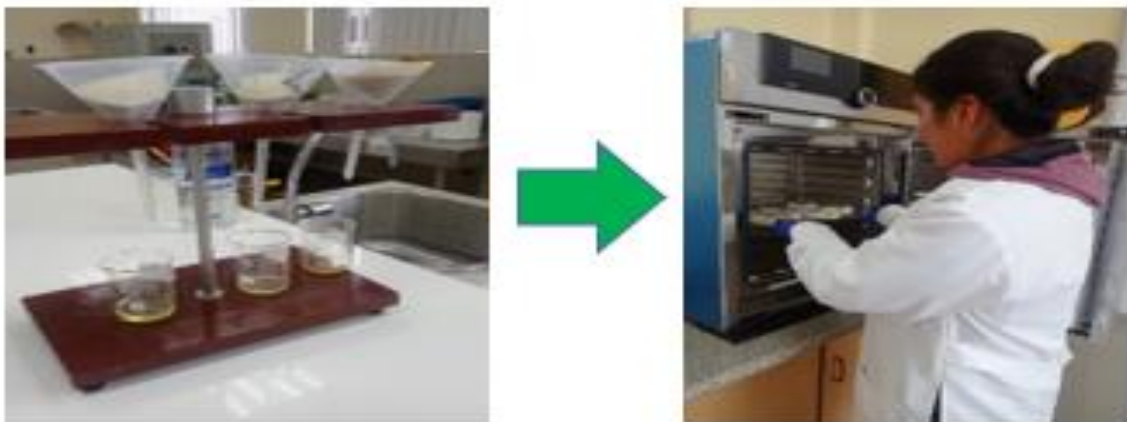
Zea Cobos, J., Rodríguez, P., & Laines, M. (2024). Aplicación combinada de Moringa oleífera y sulfato de aluminio para el tratamiento de aguas residuales: viabilidad técnica y adaptación a plantas existentes. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 18(1), 45–57.

ANEXOS

Anexo 1. Preparación del coagulante natural



Anexo 2. Extracción de aceite del coagulante natural



Anexo 3. Toma de muestra de agua residual



Anexo 4. Toma de muestra de agua residual de la PTAR Trapiche-Ananea



Anexo 5. Tratamiento de coagulación en el equipo del Floculador



Anexo 6. Uso del multiparámetro para determinar los parámetros fisicoquímicos



Anexo 7. Analisis de Turbidez posterior al tratamiento de coagulación.



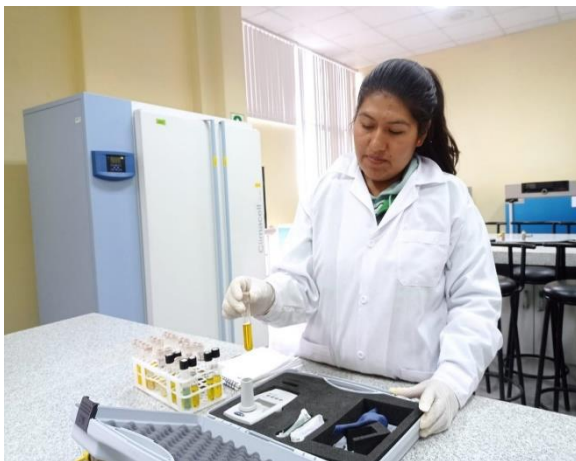
Anexo 8. Recolección de datos de turbidez



Anexo 9. Analisis de Solidos Totales Suspendidos en el laboratorio.



Anexo 10. Determinación del DQO luego del proceso de coagulación



Anexo II. Determinación del DBOs luego del proceso de coagulación



Anexo 12. Cálculo de la preparación de las dosis del coagulante natural y químico.

Preparación del coagulante natural

$$\text{solución madre es: } 2 \text{ g} = \frac{2000\text{mg}}{1\text{L}} = 2000\text{mg/L}$$

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

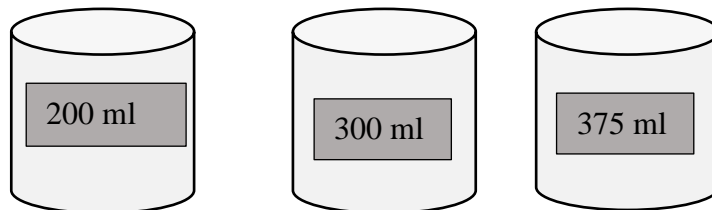
Luego distribuir las concentraciones en vasos precipitado de 500 ml:

$$1) V_1 = x = \frac{800 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 500 \text{ ml}}{\frac{2000\text{mg}}{\text{L}}} = 200 \text{ ml} \quad (1)$$

$$2) V_1 = x = \frac{1200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 500 \text{ ml}}{\frac{2000\text{mg}}{\text{L}}} = 300 \text{ ml} \quad (2)$$

$$3) V_1 = x = \frac{1500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 500 \text{ ml}}{\frac{2000\text{mg}}{\text{L}}} = 375 \text{ ml} \quad (3)$$

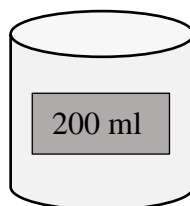
Una vez obtenido las concentraciones del coagulante natural se coloca en los vasos precipitados de 500 ml.



Preparación del coagulante Químico

- La solución madre es: **500 mg/L** y diluir en una fiola de 1 L

$$V_1 = x = \frac{200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 500 \text{ ml}}{\frac{500 \text{ mg}}{\text{L}}} = 200 \text{ ml} \quad (4)$$



Anexo 13. Gráficos de Normalidad del proyecto

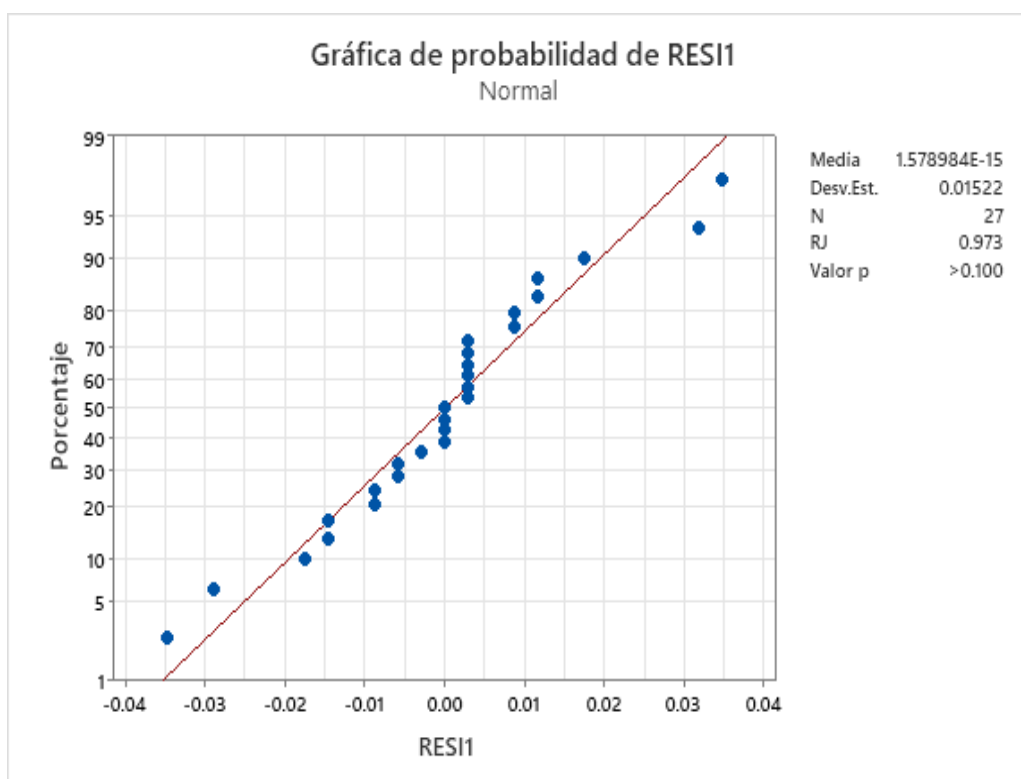
NORMALIDAD DE DATOS PARA EL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO

Para poder determinar la normalidad de datos se utilizó la prueba de Ryan-Joiner

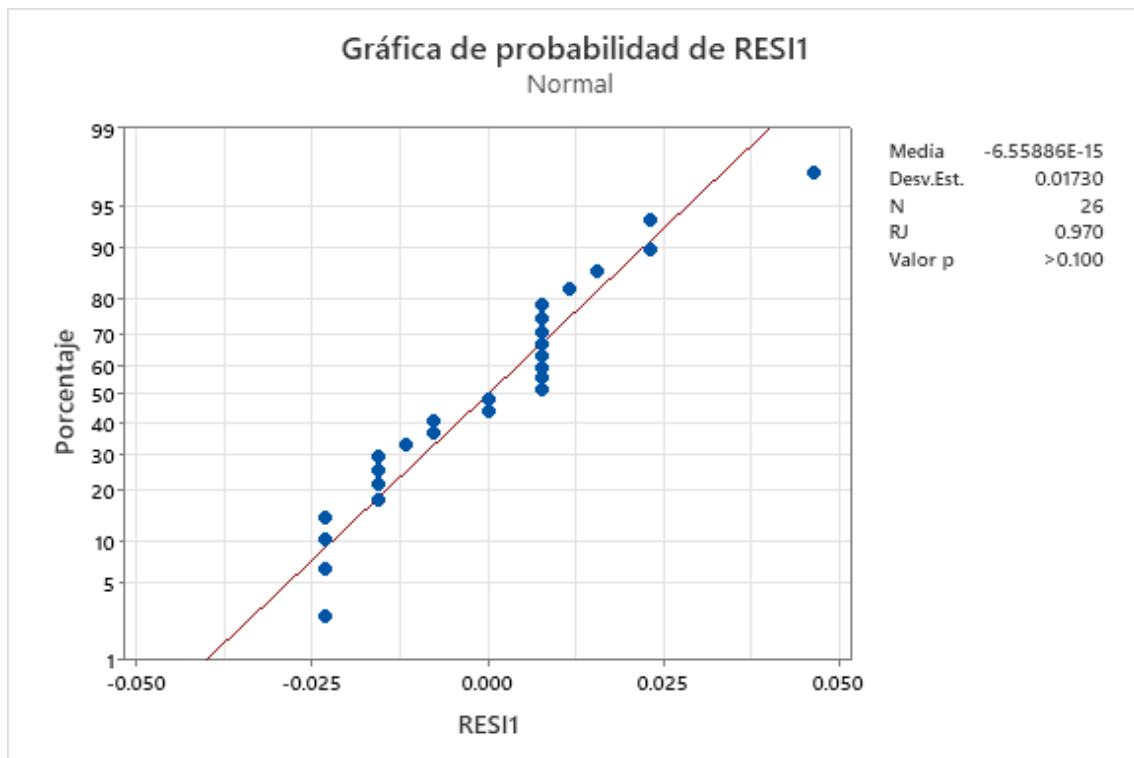
Variable respuesta	Media	Desviación Estándar	N	RJ	Valor p
Turbiedad	1.579E-14	0.015	27	0.973	>0.100
STS	-6.559E-15	0.0173	26	0.970	>0.100
DBO ₅	1.004E-14	0.472	26	0.974	>0.100
DQO	2.733E-15	0.354	26	0.973	>0.100

Se observa que los datos presentan una distribución normal para la turbiedad, STS, DBO₅ y DQO.

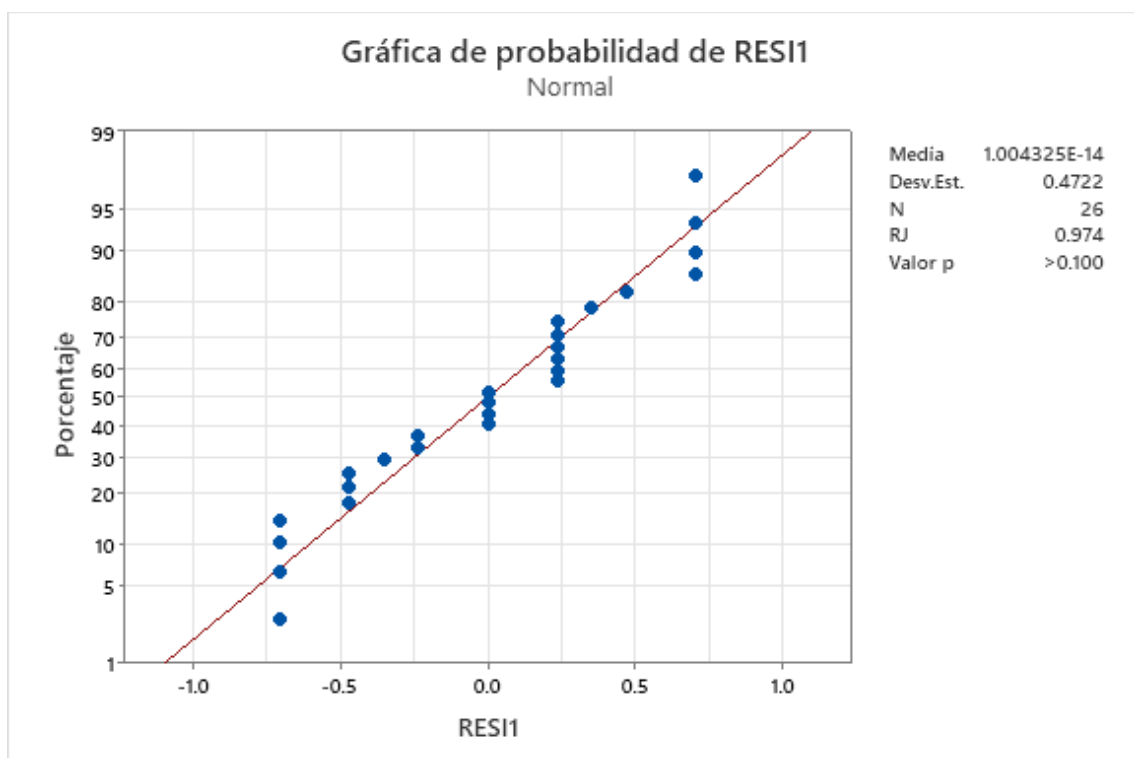
A. TURBIDEZ



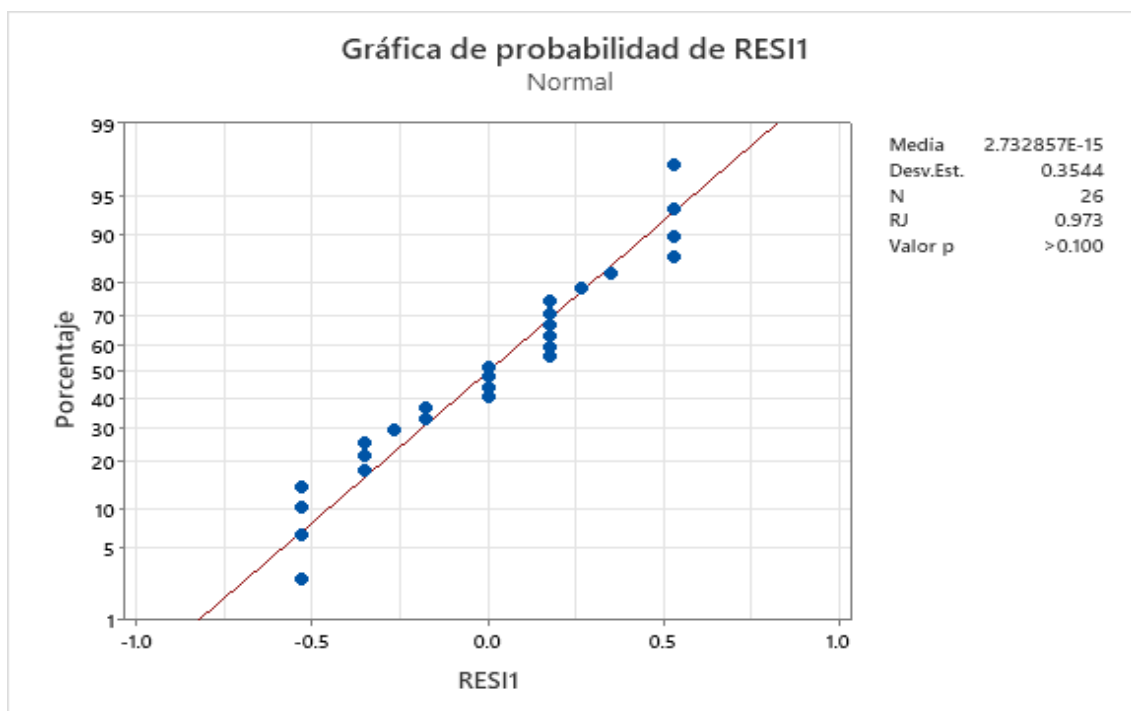
B. STS



C. DBO₅



D. DQO



Anexo 14.

Tablas de prueba de tukey de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos

Tabla 17

Prueba de Tukey de turbidez

Tipo de Coagulante	N	Media	Agrupación
MO+SA	9	93.520	A
MO	9	87.458	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 18

Prueba de Tukey de solidos totales suspendidos

Tipo de Coagulante	N	Media	Agrupación
MO+SA	9	90.022	A
MO	9	83.746	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 19

Prueba de tukey del parametro de demanda biologica de oxigeno

Tipo de Coagulante	N	Media	Agrupación
MO+SA	9	47.46	A
MO	9	17.27	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 20

Prueba de Tukey para Demanda Química de Oxígeno

Tipo de Coagulante	N	Media	Agrupación
MO+SA	9	60.56	A
MO	9	37.89	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 15.

Tablas de prueba de ANOVA de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos

Tabla 21

Análisis de la Varianza (ANOVA) de Turbidez

Fuente	G L	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	65.614	8.2018	24503.7	0.00
Lineal	4	65.090	16.272	48615.9	0.00
Moringa	2	8.8461	4.4230	13214.2	0.00
SA				9	0
pH	2	56.244	28.122	84017.6	0.00
		3	1	7	0
Interacciones de 2 términos	4	0.5243	0.1311	391.59	0.00
Moringa SA*pH	4	0.5243	0.1311	391.59	0.00
Error	18	0.0060	0.0003		0
Total	26	65.620			
		7			

Tabla 22

Análisis de la Varianza (ANOVA) de sólidos totales suspendidos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	329.575	41.197	93610.22	0.000
Lineal	4	308.829	77.207	175435.33	0.000
Moringa SA	2	29.941	14.970	34016.69	0.000
pH	2	290.327	145.163	329849.55	0.000
Interacciones de 2 términos	4	7.773	1.943	4415.83	0.000
Moringa SA*pH	4	7.773	1.943	4415.83	0.000
Error	17	0.007	0.000		
Total	25	329.582			

Tabla 23*Análisis de la Varianza (ANOVA) de demanda biológica de oxígeno*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	11540.3	1442.54	4400.21	0.000
Lineal	4	11434.4	2858.61	8719.67	0.000
Moringa SA	2	297.7	148.87	454.10	0.000
pH	2	10735.9	5367.96	16373.97	0.000
Interacciones de términos	2 4	15.5	3.89	11.85	0.000
Moringa SA*pH	4	15.5	3.89	11.85	0.000
Error	17	5.6	0.33		
Total	25	11545.9			

Tabla 24*Análisis de la Varianza (ANOVA) de demanda química de oxígeno*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	6503.38	812.92	4400.21	0.000
Lineal	4	6443.70	1610.93	8719.67	0.000
Moringa SA	2	167.79	83.89	454.10	0.000
pH	2	6050.06	3025.03	16373.97	0.000
Interacciones de términos	2 4	8.76	2.19	11.85	0.000
Moringa SA*pH	4	8.76	2.19	11.85	0.000
Error	17	3.14	0.18		
Total	25	6506.52			

Se observa que la dosis de moringa con sulfato de aluminio y pH tienen efectos significativos en el proceso de remoción de DQO en aguas residuales de la PTAR trapiche- Ananea.

Anexo 16.

Analisis de laboratorio y uso de los equipos de laboratorio y equipos en la UNAJ.



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las Heroicas Batallas de Junín y Ayacucho"

CONSTANCIA

EL RESPONSABLE DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA.

HACE CONSTAR:

Que, la Bach. YENIFER KARINA APAZA ZELA, identificada con DNI N° 70072930, desarrolló el proyecto de investigación titulado "**REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y ORGANICOS APLICANDO LA MEZCLA DE MORINGA OLEIFERA CON SULFATO DE ALUMINIO COMO TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR TRAPICHE - ANANEA**", a partir del 05 de abril al 18 de junio del 2024, en los Laboratorios de la E.P. de Ingeniería Ambiental y Forestal realizando las actividades de "Preparación y aplicación de tratamientos con Moringa oleífera y sulfato de aluminio en muestras de aguas residuales, monitoreo de parámetros de calidad del agua, incluyendo pH, DQO, turbidez y SST, análisis de resultados en cada etapa del tratamiento, utilizando equipos especializados del laboratorio de Análisis y Tratamiento de Aguas"

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines pertinentes.

Juliaca, 30 de octubre del 2024.

Atentamente,


Dr. Alejandro Pelaez Pacheco Arroyo
RESPONSABLE DE LA
E.P. INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTA

CONSTANCIA N° 009-2024-EPIAF.

C.c. Archivo



N.º 003136

Certificado de Análisis

ASUNTO : ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES MUESTRA (1)
PROCEDENCIA : (PTAR TRAPICHE- ANANEA)
INTERESADO : YENIFER KARINA APAZA ZELA
PROYECTO : "REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y ORGÁNICOS APLICANDO LA MEZCLA DE MORINGA OLEÍFERA CON SULFATO DE ALUMINIO COMO TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR TRAPICHE- ANANEA."
MOTIVO : PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ANÁLISIS : AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR TRAPICHE - ANANEA
FECHA DE MUES : 08/04/2024, por el interesado
FECH. DE RECEP. : 08/04/2024
ANÁLISIS : 08/04/2024
COD. MUESTRA : F009-000453

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	INICIO PTAR RESULTADOS	METODO ANALITICO
Potencial de Hidrogeno	pH	5.94	Electrométrico
Conductividad Eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	315.10	Termómetro
Alcalinidad	mg/L	1908.01	Volumétrico
Dureza	mg/L	4000.00	Volumétrico
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.10	Oxímetro
Turbiedad	NTU	114.75	Turbidímetro
TDS	mg/L	107.7	Calcinación
STS	mg/L	43.00	Calcinación
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	188.56	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	56.62	Digestión cerrada

Puno, C.U. 05 de noviembre del 2024
vºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 152393


DECANO DE LA F.I.Q.
UNA - PUNO



N.º 003151

Certificado de Análisis

ASUNTO: Análisis Físico Químico AGUA MUESTRA (1)

PROCEDENCIA : LABORATORIO DE LA UNAJ
INTERESADO : YENIFER KARINA APAZA ZELA
PROYECTO : "REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y ORGÁNICOS
APLICANDO LA MEZCLA DE MORINGA OLEÍFERA CON SULFATO DE
ALUMINIO COMO TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
PETAR TRAPICHE - ANANEA
MOTIVO : PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ANÁLISIS : MEZCLA DE MORINGA OLEÍFERA CON SULFATO DE ALUMINIO
MUESTREO : 30/10/2024, por el interesado
ANÁLISIS : 30/10/2024
COD. MUESTRA : F009- 000462

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

ASPECTO : Líquido
COLOR : Incoloro
OLOR : Inodoro

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

pH : 3.07
Temperatura : 15.00 °C
Conductividad Eléctrica : 69.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Dureza Total como CaCO_3 : 273.20 mg/L
Alcalinidad como CaCO_3 : 0.00 mg/L
Cloruros como Cl^- : 512.29 mg/L
Calcio como Ca^{++} : 85.28 mg/L
Sulfatos como SO_4^{--} : 167.20 mg/L
Sólidos Totales Disueltos : 35.1 mg/L
Porcentaje de salinidad : 0.0 %
Turbidez : 49 NTU

INTERPRETACIÓN

1.- Los parámetros físico-químico analizados en el laboratorio de control de calidad SI cumplen con el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano: D.S. N° 031-2010-SA

Puno, C.U. 05 de noviembre del 2024.

VºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182993


Dr. Teodoro Donaires Flores
DECANO DE LA F.I.Q.
UNA - PUNO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"

UNW