



## ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

TRATAMIENTO DE AGUAS METEÓRICAS CON COAGULANTES ORGÁNICOS  
Y CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO, PROVINCIA DE  
HUAMANGA, 2023

**Línea de investigación:**

**Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio**

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil

### **Autor**

León Palacios, Edward

### **Asesor**

Soto Vásquez, Duber Enrique

ORCID: 0000-0001-5855-7045

### **Jurado**

García Urrutia Olavarría, Roque Jesús Leonardo

Aroquipa Velásquez, Héctor

Díaz García, Martín Fernando

Lima - Perú

2025



# TRATAMIENTO DE AGUAS METEÓRICAS CON COAGULANTES ORGÁNICOS Y CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO, PROVINCIA DE HUAMANGA, 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

13%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://www.cepis.org.pe">www.cepis.org.pe</a> Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

## **ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

TRATAMIENTO DE AGUAS METEÓRICAS CON COAGULANTES  
ORGÁNICOS Y CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO,  
PROVINCIA DE HUAMANGA, 2023

**Línea de Investigación:**  
**Construcción sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Territorio**

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil

### **Autor**

León Palacios, Edward

### **Asesor**

Soto Vásquez, Duber Enrique

ORCID: 0000-0001-5855-7045

### **Jurado**

García Urrutia Olavarría, Roque Jesús Leonardo

Aroquipa Velásquez, Héctor

Díaz García, Martín Fernando

Lima – Perú

2025

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a los pilares fundamentales de mi vida: a mis padres, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi guía constante; a mi amada familia, mi faro en la travesía de la vida; a mi esposa, mi compañera incansable, a mis hijas, por ser mi inspiración y recordarme cada día por qué este esfuerzo vale la pena. A mis compañeros, quienes compartieron conmigo risas, desafíos y aprendizaje en este camino académico. A mi asesor, Dr. Duber Soto Vásquez, por su invaluable orientación y sabiduría. A mis alumnos, cuya pasión por el conocimiento me impulsa a seguir creciendo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco sinceramente a mi asesor, Dr. Duber Soto Vásquez, cuya orientación experta, dedicación y valiosos comentarios fueron fundamentales en la realización de esta tesis. También quiero expresar mi gratitud a mi querida hermana, Marlene León Palacios, cuyo aliento, apoyo y motivación fueron un pilar fundamental en este viaje académico. A todas las personas que colaboraron de una u otra forma en la realización de la presente tesis de investigación les estoy sinceramente agradecido.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Descripción del Problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Formulación del Problema .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.1. Problema general.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.2. Problemas específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Antecedentes .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.1. Antecedentes internacionales .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.2. Antecedentes nacionales.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5. Justificación de la Investigación.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.1. Justificación teórica .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.2. Justificación metodológica.....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.3. Justificación práctica .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.4. Justificación social.....</b>	<b>11</b>
<b>1.6. Limitaciones de la Investigación .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.1. Limitación espacial .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.2. Limitación temporal.....</b>	<b>12</b>
<b>1.7. Objetivos de la investigación.....</b>	<b>13</b>
<b>1.7.1 Objetivo General.....</b>	<b>13</b>
<b>1.7.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>1.8. Hipótesis de la Investigación.....</b>	<b>13</b>
<b>1.8.1, Hipótesis General.....</b>	<b>13</b>
<b>1.8.2. Hipótesis Específicas.....</b>	<b>13</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Marco conceptual .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1. Tratamiento de aguas meteóricas.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1.1. Dosificación del coagulante orgánico.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2. Calidad del agua .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2.1. Características físicas del agua.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2.2. Características químicas del agua.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2.3. Características biológicas del agua.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Marco referencial.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1. Mezcla rápida.....</b>	<b>19</b>

2.2.2.	<i>Coagulación-floculación</i> .....	20
2.2.3.	<i>Coagulante orgánico</i> .....	20
2.2.4.	<i>Agua meteórica</i> .....	20
2.2.5.	<i>Agua tratada</i> .....	21
2.3.	Base Filosófica .....	21
2.4.	Base tecnológica.....	22
2.5.	Base Legal.....	22
III.	MÉTODO.....	23
3.1.	Tipo de Investigación. ....	23
3.1.1.	<i>Tipo y nivel de investigación</i> .....	23
3.1.1.1.	Tipo de investigación .....	23
3.1.1.2.	Nivel de investigación .....	24
3.1.2.	<i>Diseño de investigación</i> .....	24
3.2.	Población y Muestra.....	25
3.2.1.	<i>Población</i> .....	25
3.2.2.	<i>Muestra</i> .....	25
3.3.	Operacionalización de Variables .....	26
3.4.	Instrumentos .....	27
3.4.1.	<i>Instrumentos para la Variable Independiente</i> .....	27
3.4.2.	<i>Instrumentos para la Variable Dependiente:</i> .....	27
3.4.3.	<i>Técnica</i> .....	27
3.4.4.	<i>Instrumento de recolección de datos</i> .....	28
3.4.5.	<i>Materiales para monitoreo</i> .....	28
3.4.6.	<i>Elaboración del extracto del coagulante natural</i> .....	29
3.4.7.	<i>Test de jarras</i> .....	30
3.4.8.	<i>Procedimiento de recolección de datos</i> .....	30
3.4.9.	<i>Procedimiento para la extracción del coagulante orgánico</i> .....	33
3.4.9.1.	Extracción del coagulante de la semilla “Moringa oleífera”.....	33
3.4.10.	<i>Preparación de la solución coagulante orgánico</i> .....	41
3.4.11.	<i>Dosificación para cada jarra</i> .....	45
3.5.	Procedimientos .....	47
3.5.1.	<i>Recolección de Muestras de Agua Meteórica</i> .....	47
3.5.2.	<i>Preparación de Coagulantes Orgánicos</i> .....	48
3.5.3.	<i>Diseño Experimental</i> .....	49
3.5.4.	<i>Test de Jarras</i> .....	49

3.6.	Análisis de datos.....	50
3.7.	Consideraciones éticas .....	50
IV.	RESULTADOS .....	51
4.1.	Introducción a los Resultados.....	51
4.2.	Características iniciales del agua .....	51
4.3.	Aplicación de moringa en solución de agua destilada.....	51
4.3.1.	<i>Remoción de la turbiedad.....</i>	51
4.3.2.	<i>Análisis del color del agua tratada .....</i>	53
4.3.3.	<i>Análisis del pH del agua tratada.....</i>	55
4.3.4.	<i>Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada .....</i>	56
4.3.5.	<i>Análisis del SDT del agua tratada.....</i>	58
4.4.	Aplicación de moringa en solución salina.....	59
4.4.1.	<i>Remoción de la turbiedad.....</i>	59
4.4.2.	<i>Análisis del color del agua tratada .....</i>	61
4.4.3.	<i>Análisis del pH del agua tratada.....</i>	63
4.4.4.	<i>Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada .....</i>	65
4.4.5.	<i>Análisis del SDT del agua tratada.....</i>	67
4.5.	Aplicación de sulfato de aluminio .....	69
4.5.1.	<i>Remoción de la turbiedad.....</i>	69
4.5.2.	<i>Análisis del color del agua tratada .....</i>	70
4.5.3.	<i>Análisis del pH del agua tratada.....</i>	72
4.5.4.	<i>Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada .....</i>	73
4.5.5.	<i>Análisis del SDT del agua tratada.....</i>	75
4.6.	Análisis Estadístico .....	77
4.6.1.	<i>Hipótesis Específica a.....</i>	77
4.6.2.	<i>Hipótesis Específica b.....</i>	80
4.6.3.	<i>Hipótesis Específica c .....</i>	83
4.6.5.	<i>Hipótesis General.....</i>	87
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	91
5.1.	Reducción de la Turbidez.....	91
5.2.	Reducción del color.....	91
5.3.	Dosis Óptima de Coagulante .....	91
VI.	CONCLUSIONES.....	93
6.1.	Eficacia de Moringa oleifera: .....	93
6.2.	Comparación con investigaciones previas:.....	93

6.3.	Ventajas sobre coagulantes inorgánicos .....	93
6.4.	Impacto en parámetros fisicoquímicos: .....	93
6.1.	Relevancia para el contexto local .....	93
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	94
7.1.	Aplicación en comunidades rurales: .....	94
7.2.	Monitoreo constante: .....	94
7.3.	Capacitación técnica: .....	94
7.4.	Investigaciones futuras: .....	94
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	95
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	98
	Anexo 1.	
	Anexo 2. Matriz de consistencia.....	99
	Anexo 3. <i>Validación y confiabilidad de instrumentos</i> .....	100
	Anexo 4. Características iniciales del agua	100
	Anexo 5.	
	Aplicación de moringa en solución de agua destilada.....	100
	<i>Remoción de la turbiedad</i> .....	100
	<i>Análisis del color del agua tratada</i> .....	102
	<i>Análisis del pH del agua tratada</i> .....	103
	<i>Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada</i> .....	104
	<i>Análisis del SDT del agua tratada</i> .....	105

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	26
<i>Operacionalización de las variables</i> .....	26
Tabla 2.....	51
<i>Características fisicoquímicas iniciales del agua de lluvia</i> .....	51
Tabla 3.....	52
<i>Turbidez inicial del agua de lluvia</i> .....	52
Tabla 4.....	
<i>Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	52
Tabla 5.....	53
<i>Color inicial del agua de lluvia</i> .....	53
Tabla 6.....	54
<i>Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	54
Tabla 7.....	55
<i>pH inicial del agua de lluvia</i> .....	55
Tabla 8.....	55
<i>pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	55
Tabla 9.....	57
<i>Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia</i> .....	57
Tabla 10.....	57
<i>Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	57
Tabla 11.....	58
<i>SDT inicial del agua de lluvia</i> .....	58
Tabla 12.....	58
<i>SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	58
Tabla 13.....	60
<i>Turbidez inicial del agua de lluvia</i> .....	60
Tabla 14.....	60
<i>Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	60
Tabla 15.....	62
<i>Color inicial del agua de lluvia</i> .....	62
Tabla 16.....	62
<i>Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	62
Tabla 17.....	64
<i>pH inicial del agua de lluvia</i> .....	64
Tabla 18.....	64
<i>pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	64
Tabla 19.....	66
<i>Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia</i> .....	66
Tabla 20.....	66
<i>Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	66
Tabla 21.....	67
<i>SDT inicial del agua de lluvia</i> .....	67
Tabla 22.....	67
<i>SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	67
Tabla 23.....	69

<i>Turbidez inicial del agua de lluvia</i> .....	69
Tabla 24.....	69
<i>Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	69
Tabla 25.....	71
<i>Color inicial del agua de lluvia</i> .....	71
Tabla 26.....	71
<i>Color del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	71
Tabla 27.....	72
<i>pH inicial del agua de lluvia</i> .....	72
Tabla 28.....	72
<i>pH del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	72
Tabla 29.....	74
<i>Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia</i> .....	74
Tabla 30.....	74
<i>Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	74
Tabla 31.....	75
<i>SDT inicial del agua de lluvia</i> .....	75
Tabla 32.....	76
<i>SDT del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	76
Tabla 33.....	78
<i>Descriptivos</i> .....	78
Tabla 34.....	79
<i>Pruebas de normalidad</i> .....	79
Tabla 35.....	79
<i>Normalidad</i> .....	79
Tabla 36.....	80
<i>Estadísticas de muestras emparejadas</i> .....	80
Tabla 37.....	80
<i>Pruebas de muestras emparejadas</i> .....	80
Tabla 38.....	81
<i>Descriptivos</i> .....	81
Tabla 39.....	82
<i>Pruebas de normalidad</i> .....	82
Tabla 40.....	82
<i>Normalidad</i> .....	82
Tabla 41.....	82
<i>Estadísticas de muestras emparejadas</i> .....	82
Tabla 42.....	83
<i>Pruebas de muestras emparejadas</i> .....	83
Tabla 43.....	84
<i>Descriptivos</i> .....	84
Tabla 44.....	85
<i>Pruebas de normalidad</i> .....	85
Tabla 45.....	86
<i>Prueba de homogeneidad de varianzas</i> .....	86
Tabla 46.....	86
<i>ANOVA</i> .....	86
Tabla 47.....	86

<i>Comparaciones múltiples</i> .....	86
Tabla 48.....	88
<i>Descriptivos</i> .....	88
Tabla 49.....	88
<i>Pruebas de normalidad</i> .....	88
Tabla 50.....	89
<i>Normalidad</i> .....	89
Tabla 51.....	89
<i>Estadísticas de muestras emparejadas</i> .....	89
Tabla 52.....	89
<i>Pruebas de muestras emparejadas</i> .....	89
Tabla 53.....	98
<i>Características fisicoquímicas iniciales del agua de lluvia</i> .....	98
Tabla 54.....	100
<i>Características fisicoquímicas iniciales del agua de lluvia</i> .....	100
Tabla 55.....	101
<i>Turbidez inicial del agua de lluvia</i> .....	101
Tabla 56.....	101
<i>Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	101
Tabla 57.....	102
<i>Color inicial del agua de lluvia</i> .....	102
Tabla 58.....	102
<i>Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	102
Tabla 59.....	103
<i>pH inicial del agua de lluvia</i> .....	103
Tabla 60.....	103
<i>pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	103
Tabla 61.....	104
<i>Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia</i> .....	104
Tabla 62.....	104
<i>Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	104
Tabla 63.....	105
<i>SDT inicial del agua de lluvia</i> .....	105
Tabla 64.....	106
<i>SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Precipitación en la Provincia de Huamanga</i> .....	31
Figura 2	<i>Lluvia en la azotea de una vivienda (Losa aligerada de concreto)</i> .....	31
Figura 3	<i>Lluvia en la azotea de una vivienda (contrapiso de mortero semipulido)</i> .....	32
Figura 4	<i>Recolección de agua de lluvia en la azotea de una vivienda</i> .....	32
Figura 5	<i>Semillas de Moringa oleífera</i> .....	33
Figura 6	<i>Retiro de la cáscara de la semilla Moringa oleífera</i> .....	34
Figura 7	<i>Molido de la Moringa oleífera utilizando un mortero</i> .....	34
Figura 8	<i>Moringa oleífera molida</i> .....	35
Figura 9	<i>Pesado de la harina de la Moringa oleífera 433.0 gr</i> .....	35
Figura 10	<i>Horneado de la Moringa oleífera junto a los recipientes de la prensa</i> .....	36
Figura 11	<i>Vertido de la Moringa oleífera inmediatamente después de hornear</i> .....	37
Figura 12	<i>Moringa oleífera envuelto en paños de gasa para prensar y extraer el aceite</i> .....	37
Figura 13	<i>Colocado de la harina de Moringa oleífera dentro de los recipientes de la prensa</i> .....	38
Figura 14	<i>Prensado de la Moringa oleífera y extracción del aceite</i> .....	39
Figura 15	<i>Torta de la harina de Moringa oleífera, después del desengrasado</i> .....	39
Figura 16	<i>Último secado de la Moringa oleífera después de desengrasado</i> .....	40
Figura 17	<i>Harina de Moringa oleífera ya desengrasada y horneada</i> .....	40
Figura 18	<i>Tamizado de la harina de Moringa oleífera</i> .....	41
Figura 19	<i>Pesado de la harina de Moringa oleífera: 1.0 gr. (Balanza analítica digital)</i> .....	42
Figura 20	<i>Desinfección del matraz de Erlenmeyer con agua destilada para evitar contaminantes</i> .....	43
Figura 21	<i>Agitación de la solución del coagulante Moringa oleífera</i> .....	43
Figura 22	<i>Filtración de la mezcla obtenida por la presencia de partículas flotantes</i> .....	44
Figura 23	<i>Distribución del coagulante disuelto con una pipeta para varias dosis en 6 recipientes</i> ...	45
Figura 24	<i>Extracción del coagulante ya dosificado en las jeringas respectivamente</i> .....	46
Figura 25	<i>Aplicación de la prueba de jarras</i> .....	46
Figura 26	<i>Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	52
Figura 27	<i>Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	54
Figura 28	<i>pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	56
Figura 29	<i>Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	57
Figura 30	<i>SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD</i> .....	59
Figura 31	<i>Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	61
Figura 32	<i>Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	63
Figura 33	<i>pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	65
Figura 34	<i>Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	66
Figura 35	<i>SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSS</i> .....	68
Figura 36	<i>Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	70
Figura 37	<i>Color del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	71
Figura 38	<i>pH del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	73
Figura 39	<i>Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	74
Figura 40	<i>SDT del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio</i> .....	76

## ABREVIATURAS

APHA: American Public Health Association.

MOSS: Moringa oleifera en solución salina.

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez.

UPC: Unidades de Platino-Cobalto.

TDS/SDT: Total Dissolved Solids (Sólidos Disueltos Totales).

OMS: Organización Mundial de la Salud.

NTP: Norma Técnica Peruana.

ISO: International Organization for Standardization.

UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

mg/L: Miligramos por Litro.

$\mu$ S/cm: Microsiemens por Centímetro.

## RESUMEN

Esta investigación aborda la problemática global de la escasez de agua y el saneamiento, que afecta a 2.100 millones de personas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017), y la situación local en Huamanga, donde los pobladores demandan mejoras en los servicios de agua potable (Inforegión, 2017). Se evaluó la eficacia del mucílago de *Moringa oleifera* como coagulante orgánico en el tratamiento de aguas meteóricas, destacando que su mejor desempeño se obtuvo en solución salina al 3%. Con una dosis óptima de 15 mg/L, se logró una reducción del 56.71% en turbidez (3.29 NTU) y del 91.48% en color (1.90 UPC), manteniendo parámetros como pH, conductividad eléctrica y SDT dentro de rangos aceptables. Los resultados coinciden con estudios de Silva et al. (2021) en Brasil y Al-Gheethi et al. (2019) en Arabia Saudita, reafirmando la eficacia y sostenibilidad de *Moringa oleifera* frente a coagulantes inorgánicos. Este estudio propone su implementación en comunidades rurales como una solución accesible, sostenible y efectiva para mejorar el acceso al agua potable.

**Palabras clave:** *Moringa oleifera*, tratamiento de aguas meteóricas, coagulante orgánico, calidad del agua

## ABSTRACT

This research addresses the global problem of water scarcity and sanitation, which affects 2.1 billion people (World Health Organization [WHO], 2017), and the local situation in Huamanga, where residents demand improvements in drinking water services (Inforegión, 2017). The effectiveness of *Moringa oleifera* mucilage as an organic coagulant in the treatment of meteoric waters was evaluated, highlighting that its best performance was obtained in 3% saline solution. With an optimal dose of 15 mg/L, a 56.71% reduction in turbidity (3.29 NTU) and 91.48% in color (1.90 UPC) was achieved, maintaining parameters such as pH, electrical conductivity and TDS within acceptable ranges. The results coincide with the studies by Silva et al. (2021) in Brazil and Al-Gheethi et al. (2019) in Saudi Arabia, reaffirming the efficacy and sustainability of *Moringa oleifera* compared to inorganic coagulants. This study proposes its implementation in rural communities as an accessible, sustainable and effective solution to improve access to drinking water.

**Keywords:** *Moringa oleifera*, meteoric water treatment, organic coagulant, water quality

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

La escasez de agua potable y la falta de acceso a servicios de saneamiento son desafíos globales que afectan a más de 2,100 millones de personas (OMS, 2017). En la provincia de Huamanga, Ayacucho, los pobladores enfrentan limitaciones similares, exigiendo mejoras en la calidad del agua y en los servicios básicos de saneamiento (Inforegión, 2017). Las fuentes de agua disponibles, como las aguas meteóricas, presentan alta turbidez, color y contaminantes, lo que las hace inapropiadas para el consumo humano sin tratamiento adecuado.

El uso de coagulantes inorgánicos, como el sulfato de aluminio, genera preocupaciones debido a sus costos económicos y sus posibles efectos en la salud y el medio ambiente. Diversas investigaciones han evidenciado que, en poblaciones donde la concentración promedio de aluminio residual supera los 0.1 mg/L, existe un mayor riesgo de desarrollar Alzheimer (Crapper, 1976; Crapper et al., 1991; Suay & Ballester, 2002; Lugo & Valdés, 2011).

Esto refuerza la necesidad de explorar alternativas más seguras y sostenibles.

Ante este panorama, se considera el potencial de coagulantes orgánicos como el mucílago de *Moringa oleifera* por su sostenibilidad, bajo costo y accesibilidad, especialmente en comunidades rurales. Este estudio busca evaluar su efectividad en parámetros críticos de calidad del agua como turbidez, color, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, tanto en agua destilada como en solución salina al 3%. Proponemos a *Moringa oleifera* como una solución eficiente y sostenible para garantizar agua segura en la región de Huamanga.

### 1.2. Descripción del Problema

La calidad del agua es una preocupación global que afecta tanto a la salud pública como al desarrollo sostenible. A nivel mundial, 2,100 millones de personas carecen de acceso a agua potable segura (OMS, 2017), mientras que en la provincia de Huamanga, Ayacucho, los

pobladores enfrentan una problemática similar debido a la escasez de servicios de saneamiento básico y al uso de fuentes de agua de baja calidad, como las aguas meteóricas (Inforegión, 2017). Estas aguas suelen presentar altos niveles de turbidez, color y contaminantes, haciéndolas inadecuadas para el consumo humano sin un tratamiento adecuado.

Tradicionalmente, el sulfato de aluminio ha sido utilizado como coagulante para tratar el agua. Sin embargo, investigaciones como las de Suay y Ballester (2002) y Lugo y Valdés (2011) han evidenciado que concentraciones residuales de aluminio superiores a 0.1 mg/L están asociadas a un mayor riesgo de desarrollar enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer. Esto plantea un desafío significativo, especialmente en comunidades rurales donde las tecnologías de tratamiento son limitadas y las opciones sostenibles son escasas.

En este contexto, la búsqueda de alternativas seguras y sostenibles es esencial. Moringa oleifera, un coagulante orgánico de bajo costo y alta disponibilidad, ha mostrado ser efectivo para reducir la turbidez y el color del agua, especialmente cuando se utiliza en solución salina al 3%. Por tanto, surge la necesidad de investigar su efectividad en el tratamiento de aguas meteóricas en la región de Huamanga, como una solución innovadora para garantizar agua segura, reducir los riesgos de salud asociados y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

### **1.3. Formulación del Problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo influye el tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos en la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Qué efecto tiene la solución salina de Moringa sobre la turbidez del agua meteórica?

- b. ¿Cuál es la efectividad de la solución salina de Moringa en la reducción del color en el agua meteórica?
- c. ¿Cuál es la dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) en el tratamiento de aguas meteóricas para lograr la mejor calidad de agua para consumo humano?

## **1.4. Antecedentes**

### **1.4.1. Antecedentes internacionales**

Existen estudios previos que han evaluado el uso de coagulantes orgánicos en el tratamiento de agua. Osman et al. (2020) evaluaron el efecto del uso de coagulantes orgánicos en el tratamiento de agua de lluvia para su uso en riego agrícola. Los resultados mostraron que el uso de coagulantes orgánicos mejoró significativamente la calidad del agua de lluvia tratada.

De acuerdo con Kumar et al. (2019) se evaluó la eficacia de la Moringa oleifera como coagulante natural en agua potable en la India. Los resultados indicaron una reducción del 85 % en la turbidez inicial (de 200 NTU a 30 NTU) con una dosis óptima de 50 mg/L, cumpliendo con los estándares de la OMS para agua potable. Este estudio demuestra cómo los coagulantes orgánicos influyen significativamente en la mejora de la calidad del agua.

Según Nkambule et al. (2022) en Sudáfrica se utilizó la Moringa oleifera para tratar agua de mar con una turbidez inicial de 180 NTU. Con una dosis de 20 mg/L, se logró una reducción del 80 % en la turbidez, confirmando su capacidad para remover partículas suspendidas en diferentes tipos de agua, incluida el agua meteórica.

En Brasil, Silva et al. (2021) demostraron que la Moringa oleifera redujo el 75% del color y el 79% de la turbidez con una dosis de 20 mg/L, utilizando mezcla rápida (200 rpm, 2 min), floculación lenta (40 rpm, 20 min) y sedimentación (45 min). El estudio destacó su eficacia y sostenibilidad frente a los coagulantes inorgánicos.

En Arabia Saudita, Al-Gheethi et al. (2019) demostraron que la Moringa oleifera con

solución de agua de mar redujo un 85% la turbidez con 20 mg/L y eliminó metales pesados y materia orgánica, destacando su eficacia y sostenibilidad como alternativa a coagulantes inorgánicos.

De acuerdo con Díaz-Cruz et al. (2018) se evaluó la eficacia del uso de un floculante de origen natural en la eliminación de contaminantes en aguas pluviales. Los resultados indicaron que el floculante fue efectivo en la eliminación de los contaminantes presentes en el agua pluvial.

En un estudio realizado por Kouras et al. (2018), se evaluó el efecto del uso de un floculante orgánico en la eliminación de contaminantes en agua de lluvia recolectada en techos verdes. Los resultados mostraron que el uso del floculante orgánico mejoró la calidad del agua de lluvia tratada.

#### **1.4.2. Antecedentes nacionales**

El estudio "Evaluación del uso de coagulantes orgánicos naturales en el tratamiento de aguas superficiales para el consumo humano" realizado por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, concluyó que el uso de coagulantes orgánicos como la chirimoya y la quinua mejoran la calidad del agua tratada. (Lupa et al., 2019)

Según Vargas (2020) en comunidades rurales de Cusco se evaluó la eficacia de la Moringa oleifera como coagulante natural. Los resultados indicaron una reducción de la turbidez de 150 NTU a 30 NTU con una dosis de 30 mg/L, cumpliendo los estándares de agua potable en el Perú.

En un estudio realizado por Salazar y Pérez (2019) se analizó la aplicación de Moringa oleifera en aguas residuales domésticas en Piura. Se obtuvo una reducción del 85 % en turbidez y del 75 % en sólidos suspendidos totales con una dosis de 25 mg/L, demostrando su eficacia en el tratamiento de aguas contaminadas.

Ramos (2022) compararon la eficacia de la *Moringa oleifera* con el sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas en Junín. La *Moringa* logró una remoción de turbidez del 78 % con 25 mg/L, frente al 85 % alcanzado por el sulfato de aluminio, destacando su menor impacto ambiental.

Según Paredes (2021), en Arequipa se evaluó el uso de *Moringa oleifera* en la clarificación de agua de lluvia. Los resultados mostraron una reducción del 82 % en turbidez y del 60 % en color con una dosis de 20 mg/L, posicionándola como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas meteóricas.

El estudio "Tratamiento de agua turbia con coagulante orgánico de cáscaras de frutas" realizado por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, concluyó que el uso de coagulante orgánico a base de cáscaras de piña y naranja es efectivo en la reducción de turbidez y coliformes fecales en agua de consumo humano. (Alfaro et al., 2018)

El uso de coagulantes naturales ha demostrado ser efectivo en la remoción de turbiedad en plantas de tratamiento de agua potable (Segura et al., 2018).

## **1.5. Justificación de la Investigación**

La justificación del presente estudio radica en la necesidad de mejorar la calidad del agua para consumo humano en la Provincia de Huamanga, Perú. El acceso a agua potable segura es un derecho humano fundamental y es vital para la salud pública y el bienestar de la población. Sin embargo, la contaminación de las aguas meteóricas puede afectar su calidad y hacerlas inapropiadas para el consumo humano, lo que puede tener graves consecuencias para la salud pública. Por tanto, se requiere de tecnologías de tratamiento de bajo costo y sostenibles que permitan mejorar la calidad del agua meteórica y hacerla apta para consumo humano. El uso de coagulantes orgánicos puede ser una alternativa viable para mejorar la calidad del agua de manera eficiente y económica, además de ser una opción respetuosa con el medio ambiente.

En este contexto, el presente estudio busca evaluar la eficacia del uso de coagulantes orgánicos en el tratamiento de aguas meteóricas para consumo humano en la Provincia de Huamanga, y así contribuir a mejorar la calidad del agua y promover la salud pública en la región.

Como señala Pérez et al. (2019) la calidad del agua es un tema de gran importancia a nivel mundial, debido a su impacto en la salud pública y el desarrollo sostenible. Por esta razón, resulta crucial implementar tecnologías innovadoras y eficientes para el tratamiento de aguas, que permitan cumplir con los estándares de calidad y minimizar los riesgos para la salud. En este sentido, el uso de floculadores con coagulante orgánico podría ser una opción viable y sostenible para mejorar la calidad del agua tratada.

### ***1.5.1. Justificación teórica***

El agua, como recurso vital, ha sido objeto de numerosos estudios a nivel global debido a su relevancia en la sostenibilidad ambiental y la salud pública. Según la OMS (2020), el acceso al agua potable segura y de calidad es esencial para garantizar un buen nivel de salud y bienestar de la población. No obstante, con el incremento de fenómenos meteorológicos extremos, la gestión de aguas meteóricas ha tomado mayor relevancia para prevenir su potencial impacto negativo en los recursos hídricos (OMS, 2017).

Diversos estudios han mostrado que las aguas meteóricas pueden arrastrar consigo contaminantes, tales como metales pesados, productos químicos y materia orgánica, afectando así la calidad del agua (Smith & Jaffé, 2017). En este contexto, la utilización de coagulantes en el tratamiento de aguas es una práctica consolidada (Yang et al., 2016). Sin embargo, la mayoría de los coagulantes utilizados tradicionalmente son de origen inorgánico y pueden presentar desafíos ambientales y económicos.

Recientemente, la literatura científica ha empezado a enfocarse en coagulantes orgánicos por su potencial en la remoción eficaz de contaminantes y su menor impacto

ambiental (Choy et al., 2018). Además, su origen renovable y biodegradable convierte a los coagulantes orgánicos en una opción sostenible y ecológica. Sin embargo, aún es necesario profundizar en su eficacia, especialmente en contextos específicos como el de la Provincia de Huamanga, donde las características geológicas y climáticas pueden influir en la calidad del agua meteórica y, por ende, en su tratamiento.

Por otro lado, la calidad del agua para consumo humano es una preocupación constante en la Provincia de Huamanga. Según el Ministerio de Salud del Perú (2021), existen desafíos en cuanto a garantizar agua de calidad, especialmente en zonas donde la contaminación hídrica es un problema recurrente.

Por lo tanto, esta investigación busca aportar al conocimiento científico sobre la eficacia de coagulantes orgánicos en el tratamiento de aguas meteóricas en un contexto geográfico específico, con el fin último de mejorar la calidad del agua para consumo humano en la Provincia de Huamanga.

### ***1.5.2. Justificación metodológica***

Dentro del proceso de tratamiento de agua, la coagulación es una fase crítica, y su optimización es clave para garantizar la eficiencia del proceso subsiguiente de sedimentación y filtración. La prueba de jarras es una herramienta consolidada que simula el proceso de coagulación a escala de laboratorio y permite evaluar, con precisión, las dosificaciones de coagulantes, los gradientes de velocidad de agitación y el tiempo de retención adecuados (Castillo & Fernández, 2018).

La dosificación de coagulantes es crucial ya que una dosis subóptima puede resultar en coagulación ineficiente y una dosis excesiva puede tener un impacto económico negativo y dejar residuos no deseados en el agua. A través de la prueba de jarras, se pueden identificar las dosis óptimas para diferentes calidades de agua de lluvia, lo que aporta significativamente a la

adaptabilidad del tratamiento según las condiciones específicas (Rojas & Maldonado, 2019).

El gradiente de velocidad refleja la intensidad de la mezcla durante la coagulación. Un gradiente adecuado garantiza la dispersión uniforme del coagulante y la formación de flóculos de tamaño óptimo. Establecer este gradiente mediante la prueba de jarras asegura que se tenga una mezcla homogénea y una coagulación efectiva (García & López, 2020).

El tiempo de retención es el periodo en el que los flóculos formados se sedimentan. Una adecuada determinación del tiempo de retención es fundamental para garantizar la remoción efectiva de partículas y la clarificación del agua. La prueba de jarras permite evaluar este factor en condiciones controladas, aportando datos relevantes para escalar el proceso a nivel industrial (Salas & Pineda, 2021).

Dado el enfoque en la Provincia de Huamanga, y teniendo en cuenta las características específicas del agua de lluvia en esta región, la prueba de jarras emerge como un método imprescindible para personalizar y optimizar el tratamiento. Esta herramienta no solo asegura la obtención de agua de calidad para consumo humano, sino que también promueve la eficiencia y la sostenibilidad del proceso.

### ***1.5.3. Justificación práctica***

El acceso a agua potable es una necesidad básica y un derecho humano esencial. Sin embargo, en muchas regiones, incluida la Provincia de Huamanga, el suministro constante y seguro de agua para consumo humano puede ser un desafío, especialmente en temporadas de sequía o en áreas con limitadas fuentes de agua superficial o subterránea.

El aprovechamiento de aguas de lluvia emerge como una solución alternativa para complementar el suministro, pero su tratamiento es crucial para garantizar que cumpla con los estándares de calidad. En este sentido, la investigación sobre la eficiencia de coagulantes orgánicos en el tratamiento de estas aguas tiene un impacto práctico directo: proporciona una

metodología efectiva, posiblemente más ecológica y adaptada a las condiciones locales, para transformar un recurso abundante, como es el agua de lluvia, en agua potable.

Los coagulantes orgánicos, en particular, presentan ventajas prácticas como ser biodegradables, menos agresivos para el medio ambiente y, en algunos casos, derivados de recursos locales, lo que puede reducir costos y favorecer la economía local (Gutiérrez & Torres, 2020). Su implementación, una vez demostrada su eficacia, puede traducirse en sistemas de tratamiento de agua a pequeña y gran escala que sean sostenibles y de bajo impacto ambiental.

A nivel práctico, para la Provincia de Huamanga, este enfoque podría significar no solo un acceso ampliado y mejorado a agua potable, sino también una reducción en los costos asociados al tratamiento de agua, una menor dependencia de fuentes de agua convencionales y una mayor resiliencia frente a variabilidades climáticas que afectan la disponibilidad de agua.

Por último, la capacitación y concientización de la comunidad sobre los beneficios y métodos de recolección y tratamiento de aguas de lluvia puede empoderar a la población local a tomar medidas autónomas para garantizar su suministro de agua, convirtiendo a esta investigación en una herramienta práctica y educativa.

#### ***1.5.4. Justificación social***

El acceso a agua potable limpia y segura es un derecho humano fundamental reconocido por la comunidad internacional. En la Provincia de Huamanga, como en muchas otras regiones, garantizar este acceso es esencial no solo para la salud pública, sino también para el bienestar social y el desarrollo socioeconómico.

El tratamiento de aguas de lluvia usando coagulantes orgánicos se presenta como una solución innovadora que responde directamente a las necesidades de las comunidades en Huamanga. La recolección y uso de agua de lluvia para el consumo humano puede aliviar las demandas sobre fuentes hídricas ya comprometidas, asegurando una disponibilidad más

constante y equitativa del recurso.

El empleo de coagulantes orgánicos, por otro lado, refleja una creciente demanda social por prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Estos coagulantes pueden ofrecer una solución más ecológica, reduciendo los potenciales riesgos asociados con productos químicos convencionales y garantizando un agua de calidad superior para las comunidades.

## **1.6. Limitaciones de la Investigación**

### **1.6.1. Limitación espacial**

La investigación se desarrolló exclusivamente en la provincia de Huamanga, Ayacucho, Perú, enfocándose en áreas rurales con acceso limitado a sistemas de saneamiento y agua potable. Este alcance restringido podría limitar la generalización de los resultados a otras regiones con características diferentes en términos de clima, calidad del agua meteórica y recursos disponibles. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), las limitaciones espaciales pueden influir en la aplicabilidad de los hallazgos, ya que las condiciones locales específicas no siempre se replican en otros contextos geográficos.

### **1.6.2. Limitación temporal**

La investigación se llevó a cabo durante el año 2023, un período específico que puede influir en los resultados debido a la variabilidad estacional en las características del agua meteórica, como la turbidez y el contenido de sólidos disueltos. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), las limitaciones temporales pueden restringir la aplicación de los hallazgos, ya que las condiciones ambientales o climáticas pueden cambiar en otros periodos, afectando la replicabilidad de los resultados.

## **1.7. Objetivos de la investigación**

### **1.7.1 *Objetivo General***

Determinar cómo influye el tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos en la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023.

### **1.7.2 *Objetivos Específicos***

- a. Evaluar el efecto de la solución salina de Moringa sobre la turbidez del agua meteórica.
- b. Determinar la efectividad de la solución salina de Moringa en la reducción del color en el agua meteórica.
- c. Identificar la dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) en el tratamiento de aguas meteóricas para lograr la mejor calidad de agua para consumo humano.

## **1.8. Hipótesis de la Investigación**

### **1.8.1, *Hipótesis General***

El tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos mejora significativamente la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023.

### **1.8.2. *Hipótesis Específicas***

- a. La solución salina de Moringa reduce significativamente la turbidez del agua meteórica.
- b. La solución salina de Moringa es efectiva en la reducción del color en el agua meteórica.
- c. Existe una dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) que maximiza la calidad del agua meteórica tratada para consumo humano.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco conceptual

#### 2.1.1. *Tratamiento de aguas meteóricas*

"El tratamiento de aguas meteóricas para consumo humano implica procesos de tratamiento y purificación del agua de lluvia y otras precipitaciones para su uso como agua potable. Esto puede incluir la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua de lluvia, así como la adición de sustancias químicas para mejorar su calidad y hacerla potable" (Gómez & Pérez, 2018, p. 37).

"El tratamiento de aguas meteóricas para consumo humano puede ser una solución efectiva para comunidades rurales y remotas que no tienen acceso a agua potable segura. El proceso de tratamiento puede incluir la recolección de agua de lluvia y su posterior tratamiento para eliminar los contaminantes y hacerla segura para el consumo humano" (Abdul-Wahab & Bakheit, 2018, p. 383).

"El tratamiento de aguas meteóricas para consumo humano puede ser una forma sostenible de abordar la escasez de agua en áreas urbanas. La recolección y tratamiento de agua de lluvia puede reducir la dependencia del suministro de agua potable de fuentes convencionales, como ríos y lagos, y proporcionar una fuente alternativa de agua potable segura y sostenible" (Albino & Terzoni, 2017, p. 304).

##### 2.1.1.1. **Dosificación del coagulante orgánico**

La dosificación adecuada de coagulantes orgánicos, como el mucílago de Moringa oleifera, es un aspecto clave en el tratamiento de aguas para garantizar la eficiencia del proceso y la calidad del agua resultante. Según Silva et al. (2021) una dosis de 20 mg/L de Moringa puede reducir un 75% el color y un 79% la turbidez en aguas meteóricas, demostrando su eficacia en la clarificación del agua.

En investigaciones realizadas por Al-Gheethi et al. (2019), se reportó que la aplicación de 20 mg/L de *Moringa oleifera* en solución salina al 3% permitió una reducción del 85% de la turbidez, además de eliminar contaminantes como metales pesados y materia orgánica. Estos hallazgos resaltan la importancia de ajustar la dosificación según las características específicas del agua tratada, como la turbidez inicial y la presencia de sólidos disueltos totales.

Montgomery (2017) enfatiza que la dosificación óptima de coagulantes depende de ensayos previos de jar test, los cuales permiten identificar la cantidad mínima necesaria para alcanzar los niveles deseados de claridad y calidad del agua. Además, Hernández-Sampieri et al. (2014) subrayan la relevancia de calibrar la dosificación en función de las condiciones locales, como la calidad del agua meteórica y la disponibilidad de recursos, para garantizar que el proceso sea efectivo y sostenible en contextos rurales.

### **2.1.2. Calidad del agua**

La calidad del agua se define como el estado físico, químico y biológico que determina su idoneidad para diferentes usos, como el consumo humano, actividades agrícolas e industriales (OMS, 2017). Es evaluada a través de parámetros como turbidez, color, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (SDT), los cuales reflejan la presencia de contaminantes y partículas suspendidas (Montgomery, 2017).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) establece que el agua potable debe cumplir con estándares rigurosos, como un pH entre 6.5 y 8.5, turbidez inferior a 5 NTU y ausencia de contaminantes químicos o biológicos. Por otro lado, la norma ISO 7887:2014 establece los procedimientos para medir el color del agua, mientras que la norma ISO 7027-1:2016 especifica los métodos para la determinación de la turbidez, destacando la importancia de cumplir con estos parámetros para garantizar la seguridad del agua potable (International Organization for Standardization [ISO], 2014, 2016).

Además, Suay y Ballester (2002) advierten que la exposición a altos niveles de aluminio residual en el agua ( $>0.1$  mg/L) puede estar asociada con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, destacando la relevancia de utilizar métodos sostenibles, como coagulantes orgánicos, para minimizar la presencia de metales pesados en el agua. Esto refuerza la importancia de adoptar estrategias sostenibles de tratamiento que aseguren tanto la potabilidad del agua como su compatibilidad ambiental.

### **2.1.2.1. Características físicas del agua**

**a. Turbidez:** La turbidez es una medida de la cantidad de partículas suspendidas en el agua y puede afectar la apariencia, el sabor y el olor del agua potable. Un alto nivel de turbidez también puede ser un indicador de la presencia de microorganismos y sustancias tóxicas en el agua. Por lo tanto, es fundamental reducir la turbidez del agua durante su tratamiento. La OMS (2011) recomienda un límite máximo de 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) para el agua potable.

La turbiedad del agua se refiere a la cantidad de materiales suspendidos en el agua, como sedimentos o partículas orgánicas, que afectan la transparencia del agua y pueden interferir con el proceso de tratamiento (Kapoor et al., 2017).

**b. Temperatura:** La temperatura del agua puede afectar la eficacia de algunos tratamientos, como la desinfección. La OMS recomienda una temperatura del agua potable entre 5 y 25°C para prevenir el crecimiento de microorganismos (OMS, 2011).

La temperatura del agua es la medida de la cantidad de calor en el agua, que influye en los procesos biológicos y químicos del tratamiento de agua (Yunus et al., 2015).

**c. Conductividad del agua:** Es la capacidad del agua para conducir electricidad debido a la presencia de iones disueltos, y se utiliza como indicador de la salinidad o la dureza del agua (García-Sánchez et al., 2016).

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad del agua para conducir electricidad y está relacionada con la cantidad de sales disueltas en el agua. La conductividad eléctrica del agua puede afectar la eficacia de algunos tratamientos, como la desalinización. La OMS no establece un límite máximo de conductividad eléctrica para el agua potable, pero recomienda que se mantenga lo más baja posible (OMS, 2011).

**d. Color:** El color del agua puede ser un indicador de la presencia de sustancias orgánicas y puede afectar la aceptabilidad del agua potable. Un alto nivel de color también puede interferir con algunos tratamientos, como la desinfección. La OMS recomienda un límite máximo de 15 unidades de Hazen (unidades de color) para el agua potable (OMS, 2011).

El color del agua es la apariencia que adquiere el agua debido a la presencia de materiales disueltos o en suspensión, lo que puede afectar su calidad y aceptabilidad para uso humano (Abdel-Shafy & Mansour, 2016).

**e. Sabor y olor:** El sabor y el olor del agua pueden ser afectados por la presencia de sustancias orgánicas y químicas en el agua. Un alto nivel de sabor y olor puede interferir con la aceptabilidad del agua potable. La OMS no establece un límite máximo para el sabor y el olor del agua potable, pero recomienda que el agua tenga un sabor y olor aceptables para los consumidores (OMS, 2011).

#### **2.1.2.2. Características químicas del agua**

**a. pH:** es una medida de la acidez o alcalinidad del agua y puede afectar la eficacia de los tratamientos de agua. La OMS recomienda un rango de pH entre 6,5 y 8,5 para el agua potable (OMS, 2011).

El pH del agua es una medida de la acidez o alcalinidad del agua, que influye en la solubilidad y estabilidad de los productos químicos utilizados en el tratamiento (Ahmed et al., 2018).

**b. Dureza:** La dureza del agua se refiere a la cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua. El agua dura puede causar problemas en los sistemas de tratamiento de agua y en los hogares debido a la acumulación de sedimentos. Los límites aceptables de dureza del agua varían según la fuente, pero generalmente oscilan entre 50 y 200 mg/L de carbonato de calcio (Environmental Protection Agency [EPA], 2021).

**c. Alcalinidad:** La alcalinidad del agua se refiere a su capacidad para neutralizar los ácidos. Es importante para mantener el pH del agua en un rango aceptable. Los límites aceptables de alcalinidad también varían según la fuente, pero generalmente se encuentran entre 20 y 200 mg/L de carbonato de calcio (EPA, 2021).

**d. Concentración de cloruros:** El agua no debe contener concentraciones elevadas de cloruros, ya que pueden tener efectos negativos en la salud humana y en la calidad del agua (OMS, 2011).

**e. Concentración de metales pesados:** El agua no debe contener concentraciones elevadas de metales pesados, como plomo, mercurio, cadmio, entre otros. Estos metales pueden ser tóxicos para la salud humana y causar daños a largo plazo (OMS, 2011).

**f. Contenido de nitratos y nitritos:** El agua no debe contener concentraciones elevadas de nitratos y nitritos, ya que estos compuestos pueden ser perjudiciales para la salud humana, especialmente para bebés y mujeres embarazadas (OMS, 2011).

### **2.1.2.3. Características biológicas del agua**

Las características biológicas del agua que se miden para ser considerada apta para consumo humano incluyen la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal, como coliformes fecales y *Escherichia coli*, así como la ausencia de microorganismos patógenos, como *Salmonella* y *Vibrio cholerae*.

Según la Norma Técnica Peruana (NTP) 399.010, los valores máximos permitidos de microorganismos en agua potable son los siguientes:

Coliformes totales: 10 unidades formadoras de colonias (UFC) por 100 ml de agua

Coliformes fecales: 0 UFC por 100 ml de agua

Escherichia coli: 0 UFC por 100 ml de agua

Además, la norma establece que el agua no debe contener microorganismos patógenos, como Salmonella y Vibrio cholerae.

## **2.2. Marco referencial**

### **2.2.1. Mezcla rápida**

La mezcla rápida es una etapa clave en los procesos de coagulación y floculación para el tratamiento del agua, cuyo objetivo es garantizar la distribución uniforme del coagulante en el volumen de agua tratada. Según Montgomery (2017) este proceso es esencial para propiciar la formación de microfloculos, ya que permite que las partículas suspendidas entren en contacto con el coagulante, generando una reacción química inmediata.

La norma ISO 7027-1:2016 establece que la mezcla rápida se debe realizar a altas velocidades, generalmente a 200 rpm, durante un tiempo corto de 1 a 2 minutos. Esta velocidad asegura una dispersión adecuada del coagulante en toda la solución, facilitando la neutralización de las cargas negativas de las partículas suspendidas y la formación de agregados más grandes, que pueden sedimentarse fácilmente en etapas posteriores (American Public Health Association [APHA], 2017).

En investigaciones recientes, como las realizadas por Silva et al. (2021) se destaca que el tiempo y la velocidad de la mezcla rápida son factores determinantes en la eficiencia del proceso de coagulación, especialmente cuando se utilizan coagulantes orgánicos como el mucílago de Moringa oleifera. Estos hallazgos subrayan la importancia de optimizar los parámetros de mezcla rápida para maximizar la eficacia del tratamiento de agua.

### **2.2.2. Coagulación-floculación**

La coagulación-floculación es un proceso esencial para la remoción de partículas suspendidas en el agua. La coagulación neutraliza las cargas eléctricas de las partículas, promoviendo su agrupación, mientras que la floculación fomenta la formación de flóculos más grandes mediante mezcla lenta. Según Montgomery (2017) este proceso es clave para reducir turbidez y color. Estudios como los de Silva et al. (2021) y Al-Gheethi et al. (2019) destacan la eficacia de coagulantes orgánicos como la *Moringa oleifera*, que combina sostenibilidad y eficiencia en el tratamiento del agua.

### **2.2.3. Coagulante orgánico**

Un coagulante orgánico es una sustancia química que se utiliza para eliminar partículas finas y coloides en el agua mediante la formación de flóculos y su posterior eliminación por sedimentación o filtración (Wang et al., 2019).

Los coagulantes orgánicos se derivan de fuentes naturales o sintéticas y son preferidos en comparación con los coagulantes inorgánicos debido a sus propiedades de floculación mejoradas y su menor impacto ambiental (Ghosh et al., 2019).

### **2.2.4. Agua meteórica**

El agua meteórica se refiere al agua que cae del cielo como precipitación, en forma de lluvia, nieve, granizo o aguanieve. Esta agua puede contener contaminantes que la hacen no apta para el consumo humano o para otros usos, y por lo tanto debe ser tratada antes de su uso (Aubrey, 2019).

El tratamiento de agua meteórica implica la eliminación de sólidos en suspensión, partículas coloidales, materia orgánica, microorganismos y otros contaminantes, mediante procesos físicos, químicos y biológicos. El objetivo principal es producir agua de alta calidad

que sea segura para el consumo humano y otros usos (Kanakoudis et al., 2012).

### **2.2.5. Agua tratada**

El agua tratada es aquella que ha sido sometida a diversos procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar impurezas y mejorar su calidad. (García-Murillo, 2020).

El proceso de tratamiento de agua puede incluir la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, entre otros. Cada uno de estos procesos tiene como objetivo eliminar impurezas y microorganismos del agua cruda. (Fuentes et al., 2019).

## **2.3. Base Filosófica**

El ser humano desde que apareció en la tierra siempre ha estado en busca de su bienestar, a través del tiempo ha ido enfrentando dificultades, inicialmente sin rigurosidad, poco a poco fue mejorando los métodos para resolver sus problemas, es ahí donde aparecen los científicos, para captar el agua de la naturaleza, almacenarla y tratarla de tal forma que sea apta para el consumo humano sin perjudicar su salud.

La filosofía del tratamiento de agua implica la aplicación de un enfoque multidisciplinario para abordar los problemas complejos y críticos del agua y su tratamiento (Phipps, 2015).

El tratamiento del agua se considera un tema de justicia ambiental, ya que el acceso al agua potable y su tratamiento adecuado es un derecho humano fundamental (Schlosberg, 2007).

La base filosófica de esta investigación se sustenta en el derecho universal al acceso al agua potable y al saneamiento, reconocido por las Naciones Unidas como un derecho humano fundamental. Este derecho se refiere al acceso físico y económico a una fuente de agua segura, suficiente y asequible, así como a instalaciones sanitarias adecuadas.

#### **2.4. Base tecnológica**

El uso de tecnologías accesibles y sostenibles es fundamental para el tratamiento de aguas meteóricas en comunidades rurales. La tecnología empleada en esta investigación incluye el uso de coagulantes orgánicos, como el mucílago de Moringa oleifera, en combinación con procesos estándar como mezcla rápida, floculación lenta y sedimentación (Montgomery, 2017). Este enfoque aprovecha métodos eficientes y de bajo costo, destacando la viabilidad de implementar soluciones tecnológicas simples pero efectivas en contextos con recursos limitados.

#### **2.5. Base Legal**

La investigación se enmarca en la Ley General de Aguas N° 29338 del Perú, que regula la gestión sostenible del recurso hídrico y promueve tecnologías que garanticen el acceso a agua de calidad para consumo humano. Asimismo, se considera la Norma Técnica Peruana NTP 214.027:2019, que establece los parámetros de calidad para agua potable, incluyendo límites máximos permisibles para turbidez, color, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. Estas normativas orientan el desarrollo y validación de métodos basados en coagulantes orgánicos como la Moringa oleifera.

De acuerdo con la NTP 214.027:2019 y la OMS, los parámetros máximos para agua potable son: turbidez  $\leq 5$  NTU, color  $\leq 15$  UPC, pH entre 6.5 y 8.5, conductividad  $\leq 1,500$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  y TDS  $\leq 500$  mg/L. Estos límites aseguran la calidad del agua para consumo humano.

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de Investigación.

##### 3.1.1. *Tipo y nivel de investigación*

La investigación es de tipo experimental, prospectivo, longitudinal, analítico; y de nivel aplicativo, por otra parte, el diseño es experimental prospectivo-longitudinal.

##### 3.1.1.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada, explicativa, cuantitativa y experimental, ya que busca resolver un problema práctico mediante el análisis de relaciones causa-efecto bajo condiciones controladas.

##### a) Según el Propósito - Aplicada:

Busca resolver un problema práctico, mejorando la calidad del agua meteórica para consumo humano. Bernal (2010) sostiene que las investigaciones aplicadas están orientadas a encontrar soluciones prácticas a necesidades específicas.

##### b) Según el Nivel de Profundidad - Explicativa:

Determina cómo los coagulantes orgánicos influyen en parámetros de calidad del agua, estableciendo relaciones causa-efecto. Tamayo y Tamayo (2009) afirman que las investigaciones explicativas identifican las causas de los fenómenos.

##### c) Según el Enfoque - Cuantitativa:

Analiza variables físico-químicas como turbidez, color y pH mediante mediciones numéricas. Hernández-Sampieri et al. (2014) destacan que el enfoque cuantitativo es ideal para estudios que requieren precisión y análisis estadístico.

**d) Según el Nivel de Control - Experimental:**

Manipula variables independientes (dosis de coagulantes) en condiciones controladas para observar su efecto en variables dependientes (turbidez, color). Montgomery (2017) señala que los diseños experimentales permiten establecer relaciones causa-efecto al controlar factores externos.

**3.1.1.2. Nivel de investigación**

El estudio es de nivel explicativo, ya que busca determinar relaciones causa-efecto entre las variables, específicamente cómo el uso de coagulantes orgánicos influye en la calidad del agua meteórica, evaluando parámetros como turbidez y color (Tamayo & Tamayo, 2009).

**3.1.2. Diseño de investigación**

La investigación utiliza un diseño experimental, ya que manipula variables independientes (dosis de coagulantes orgánicos) bajo condiciones controladas para analizar su efecto en variables dependientes (turbidez, color, pH), permitiendo establecer relaciones causa-efecto (Montgomery, 2017; Hernández-Sampieri et al., 2014).

El diseño de investigación es el plan estratégico que guía la recolección, análisis e interpretación de datos para alcanzar los objetivos de un estudio de manera válida y confiable. Define cómo se manejarán las variables, la temporalidad, el lugar y los métodos empleados. Es clave para garantizar la sistematicidad, reproducibilidad y validez de los resultados (Hernández-Sampieri et al., 2014)

**Según la Temporalidad**

La investigación es de tipo longitudinal, ya que analiza las muestras de agua recolectadas durante un período de tiempo específico (temporada de lluvias), lo que permite observar cómo las condiciones y el tratamiento con coagulantes afectan la calidad del agua en

distintos momentos (Creswell, 2015).

### **Según el Lugar**

La investigación es de tipo de laboratorio, ya que los experimentos se realizan bajo condiciones controladas, utilizando equipos especializados para manipular variables independientes (dosis de coagulantes) y medir los efectos en las variables dependientes, como turbidez y color (Montgomery, 2017).

## **3.2. Población y Muestra**

### **3.2.1. Población**

Según Hernández et al. (2021) la población se define como "el conjunto de individuos, objetos o eventos que presentan características comunes, respecto a la cual se quieren obtener conclusiones" (p. 119).

La población está conformada por las aguas meteóricas recolectadas durante la temporada de lluvias en la provincia de Huamanga, Ayacucho. Estas aguas representan las características de las precipitaciones en la región.

### **3.2.2. Muestra**

Se realizó un muestreo no probabilístico por juicio de expertos, recolectando 120 litros de aguas meteóricas durante el año 2023 en puntos estratégicos de la provincia de Huamanga. Los puntos fueron seleccionados en zonas rurales con acceso limitado a agua potable, considerando factores como contaminación atmosférica, altitud y uso del suelo, para reflejar las condiciones generales de la región (Hernández-Sampieri et al., 2014). Se recolectaron 30 litros de agua por punto, sumando los 120 litros totales.

El volumen recolectado permitió realizar 120 experimentos, con 10 concentraciones de *Moringa oleifera*, replicadas 4 veces bajo 3 condiciones distintas: agua destilada, solución

salina y sulfato de aluminio. Los análisis incluyeron turbidez, color, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (TDS), siguiendo los estándares de APHA (2017).

### Protocolo de Recolección y Manejo:

Las muestras de agua meteórica se recolectaron en recipientes estériles colocados en áreas abiertas, transportadas en cajas isotérmicas y almacenadas a 4 °C. Los análisis se realizaron dentro de las primeras 24 horas, siguiendo protocolos internacionales para preservar su calidad (APHA, 2017).

### 3.3. Operacionalización de Variables

**Tabla 1.**

*Operacionalización de las variables*

Variable	Dimensión	Indicador
Tratamiento con Coagulante Orgánico.	Moringa en Agua Destilada:	<u>Concentración de Moringa en Agua Destilada.</u> <u>Medida: mg/L (miligramos por litro)</u> Descripción: Cantidad de extracto de Moringa disuelto en agua destilada para su uso como coagulante.
	Moringa en Agua Salada	<u>Concentración de Moringa en Agua salada</u> <u>Medida: mg/L (miligramos por litro)</u> Descripción: Cantidad de extracto de Moringa disuelto en agua salada para su uso como coagulante.
	Dosis del Coagulante:	<u>Dosis de Moringa Aplicada</u> <u>Medida: mg/L (miligramos por litro).</u> Descripción: La cantidad específica de coagulante (Moringa) añadida al agua meteórica durante el tratamiento.
Calidad del Agua para Consumo Humano.	Turbidez (NTU). .	<u>Nivel de Turbidez.</u> <u>Medida: NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).</u> Descripción: Medida de la claridad del agua; refleja la cantidad de partículas suspendidas que dispersan la luz.
	pH	<u>Indicador: pH del Agua.</u> <u>Medida: Escala de pH.</u> Descripción: Mide la acidez o alcalinidad del agua tratada.
	Conductividad Eléctrica	<u>Conductividad Eléctrica del Agua.</u> <u>Medida: <math>\mu</math>S/cm (microsiemens por centímetro).</u> Descripción: Mide la capacidad del agua para conducir electricidad, lo que refleja la

	concentración de iones presentes.
	Concentración de Sólidos Disueltos Totales.
Sólidos Disueltos Totales (TDS) (mg/L).	Medida: mg/L (miligramos por litro).
	Descripción: Cantidad total de sales minerales y otros sólidos disueltos en el agua.
	Intensidad del Color del Agua.
Color (unidades Pt-Co).	Medida: Unidades Pt-Co (Platino-Cobalto).
	Descripción: Medida de la coloración del agua, que puede ser causada por la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos.
	Recuento de Microorganismos.
Presencia de Microorganismos (UFC/100 mL).	Medida: UFC/100 mL (Unidades Formadoras de Colonias por 100 mililitros).
	Descripción: Cantidad de bacterias u otros microorganismos presentes en una muestra de agua tratada.

*Fuente propia*

### 3.4. Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos para la Variable Independiente:

- Balanza analítica: Para medir las concentraciones de Moringa.
- Cilindro graduado/pipeta volumétrica: Para preparar y dosificar las soluciones coagulantes.

#### 3.4.2. Instrumentos para la Variable Dependiente:

- Turbidímetro: Para medir la turbidez del agua en NTU.
- Medidor de pH digital: Para determinar la acidez o alcalinidad del agua.
- Conductímetro: Para evaluar la conductividad eléctrica del agua en  $\mu\text{S/cm}$ .
- Medidor de TDS: Para determinar la concentración de sólidos disueltos totales en mg/L.
- Espectrofotómetro: Para medir la intensidad del color en unidades Pt-Co.

#### 3.4.3. Técnica

- Preparación de soluciones: Uso de balanzas y cilindros para dosificar concentraciones de Moringa.

- b) Evaluación de turbidez: Medición con turbidímetro.
- c) Medición de pH: Determinación con medidor digital.
- d) Conductividad eléctrica: Medición con conductímetro.
- e) Determinación de color: Análisis con espectrofotómetro.
- f) Análisis microbiológico: Cultivos en placas Petri e incubación.
- g) Análisis estadístico: Evaluación de resultados y relaciones entre variables.

#### **3.4.4. Instrumento de recolección de datos**

- a) Balanza analítica: Para medir con precisión las concentraciones de Moringa utilizadas en las soluciones coagulantes.
- b) Cilindro graduado/pipeta volumétrica: Para dosificar las cantidades exactas de coagulante aplicado al agua meteórica.
- c) Turbidímetro: Para medir la turbidez del agua en unidades NTU.
- d) Medidor de pH digital: Para registrar la acidez o alcalinidad del agua tratada.
- e) Conductímetro: Para medir la conductividad eléctrica del agua en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- f) Medidor de TDS: Para determinar los sólidos disueltos totales en mg/L.
- g) Espectrofotómetro: Para analizar la intensidad del color en unidades Pt-Co. Guías de Observación: Registran procedimientos experimentales.

#### **3.4.5. Materiales para monitoreo**

- a) Recolección de muestras: Recipientes estériles y cajas isotérmicas para mantener las muestras a 4 °C.
- b) Preparación de soluciones: Balanza analítica, cilindros graduados y pipetas volumétricas para dosificar coagulantes.
- c) Análisis físico-químico: Turbidímetro, medidor de pH, conductímetro, medidor

de TDS y espectrofotómetro.

d) Análisis microbiológico: Placas Petri e incubadora para cultivos bacterianos.

e) Material adicional: Termómetro para verificar la temperatura.

#### **3.4.6. *Elaboración del extracto del coagulante natural***

a) Selección y Limpieza:

Las semillas maduras de *Moringa oleifera* fueron lavadas, secadas y descascaradas para eliminar impurezas y garantizar su calidad (APHA, 2017).

b) Molido y Horneado:

Las semillas descascaradas fueron molidas hasta obtener una harina fina y luego horneadas a temperatura controlada para eliminar la humedad, siguiendo los procedimientos recomendados por Silva et al. (2021).

c) Prensado:

La harina de *Moringa* fue prensada mecánicamente para extraer el aceite, y el residuo sólido (torta) resultante se utilizó como base del coagulante (Al-Gheethi et al., 2019).

d) Tamizado:

El residuo pulverizado fue tamizado mediante una malla de 0.5 mm (malla 35-40 ASTM) para garantizar una textura uniforme, como sugiere Silva et al. (2021).

e) Preparación:

El polvo tamizado fue disuelto en agua destilada o solución salina al 3%, y agitado vigorosamente para lograr una mezcla homogénea (APHA, 2017).

f) Filtrado y Almacenamiento:

La solución fue filtrada para remover partículas no disueltas y almacenada a 4 °C, siendo utilizada en un plazo máximo de 24 horas para mantener su efectividad (Al-Gheethi et al., 2019).

### **3.4.7. Test de jarras**

Con el test de jarras se evaluó la eficacia de *Moringa oleifera* como coagulante en agua meteórica. Se prepararon soluciones con concentraciones de 5 a 50 mg/L y se aplicaron en jarras de 1 litro. Tras una mezcla rápida (200 rpm, 2 minutos) y una mezcla lenta (40 rpm, 20 minutos), las muestras sedimentaron durante 45 minutos. Se analizaron parámetros como turbidez, pH, color, conductividad y TDS en soluciones de agua destilada y agua salina, comparando los resultados con sulfato de aluminio (APHA, 2017).

### **3.4.8. Procedimiento de recolección de datos**

Para recolectar la muestra de agua de lluvia de tal forma que sea homogénea y representativa, se consideró la posible acumulación de partículas o contaminantes, para ello se descartó los primeros litros con un “separador de primeras lluvias”, se utilizó un contenedor de polietileno para su almacenamiento, una vez recolectado la muestra se cerró el recipiente de manera hermética, etiquetándolo con la fecha, hora y lugar de recolección, enviando al laboratorio para su análisis inmediatamente, de acuerdo al "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales" decretado según la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA.

### **Recolección de Muestras**

Se recolectaron 120 litros de agua meteórica mediante un muestreo no probabilístico por juicio de expertos en cuatro puntos estratégicos de zonas rurales de Huamanga, seleccionados por su representatividad ambiental considerando factores como contaminación atmosférica, altitud y uso del suelo (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Los recipientes estériles fueron colocados en áreas abiertas, libres de techos o vegetación, durante eventos de lluvia. Las muestras se transportaron en cajas isotérmicas y se

almacenaron a 4 °C, asegurando su conservación y análisis en un máximo de 24 horas, siguiendo protocolos de calidad del agua (APHA, 2017).

### **Figura 1**

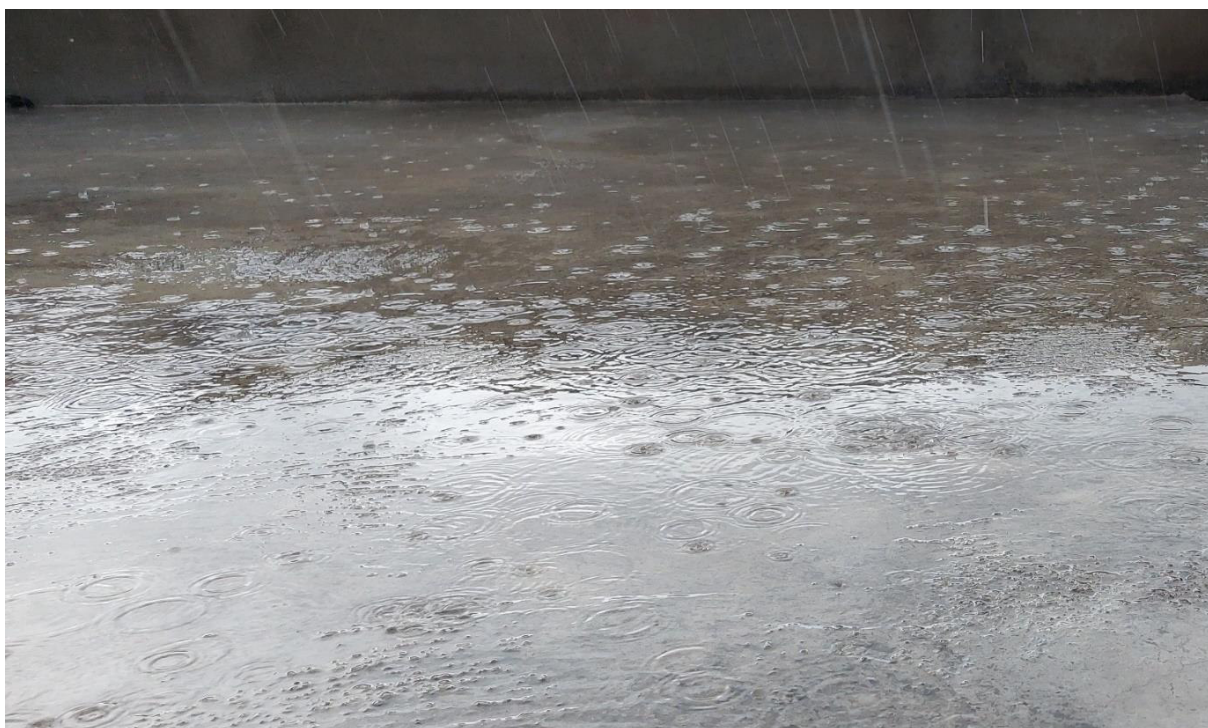
*Precipitación en la Provincia de Huamanga*



Fuente propia

### **Figura 2**

*Lluvia en la azotea de una vivienda (Losa aligerada de concreto)*



Fuente propia

**Figura 3**

*Lluvia en la azotea de una vivienda (contrapiso de mortero semipulido)*



Fuente propia

**Figura 4**

*Recolección de agua de lluvia en la azotea de una vivienda a través de tuberías PVC de 2" en un recipiente de capacidad de 200 Lt.*



Fuente propia

### 3.4.9. Procedimiento para la extracción del coagulante orgánico

#### 3.4.9.1. Extracción del coagulante de la semilla “Moringa oleífera”

El coagulante de Moringa oleifera se obtuvo mediante selección, lavado, secado, descascarado y molido de las semillas. La harina resultante fue horneada a 50-60 °C, prensada para extraer el aceite, y el residuo sólido tamizado con una malla de 0.5 mm. El polvo se disolvió en agua destilada o solución salina al 3%, filtrándose y almacenándose a 4 °C para su uso dentro de 24 horas (Al-Gheethi et al., 2019; Silva et al., 2021)

#### Figura 5

*Semillas de Moringa oleifera*



Fuente propia

**Figura 6**

*Retiro de la cáscara de la semilla Moringa oleífera*



Fuente propia

**Figura 7**

*Molido de la Moringa oleífera utilizando un mortero*



Fuente propia

**Figura 8**

*Moringa oleífera molida*



Fuente propia

**Figura 9**

*Pesado de la harina de la Moringa oleífera 433.0 gr.*



Fuente propia

**Figura 10**

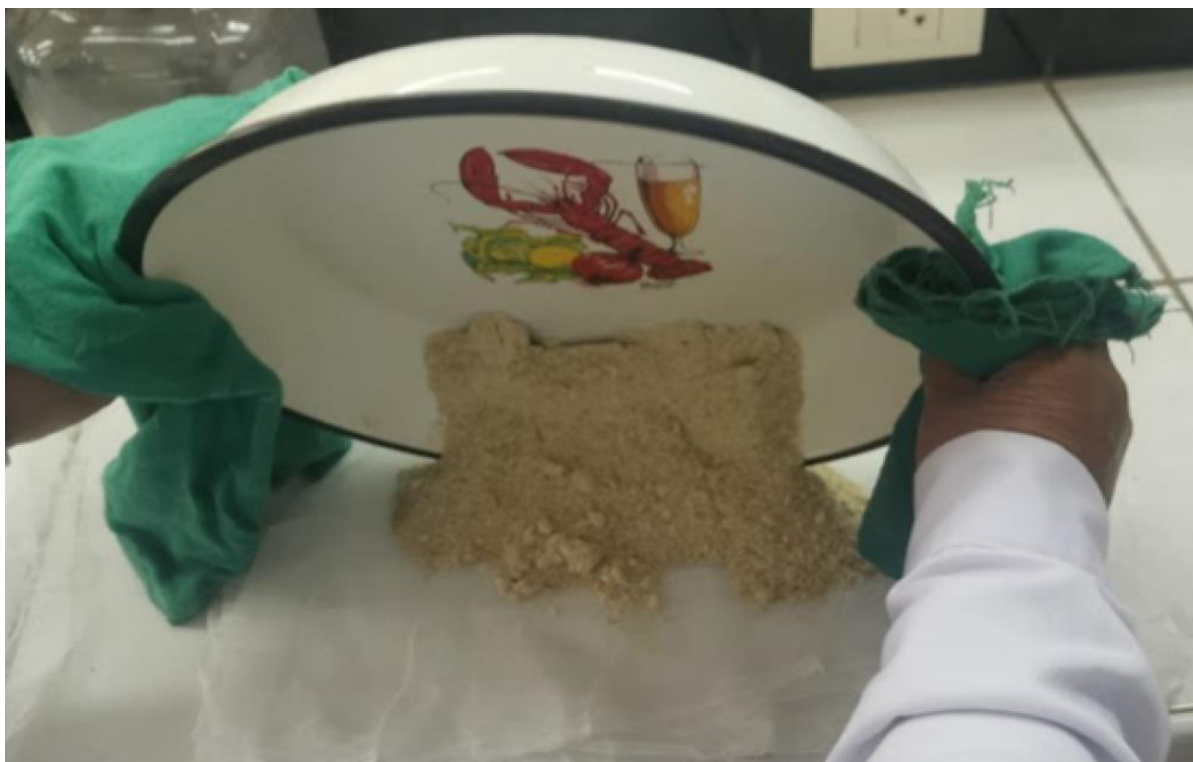
*Horneado de la Moringa oleífera junto a los recipientes de la prensa.*



Fuente propia

**Figura 11**

*Vertido de la Moringa oleífera inmediatamente después de hornear.*



Fuente propia

**Figura 12**

*Moringa oleífera envuelto en paños de gasa para prensar y extraer el aceite*



Fuente propia

**Figura 13**

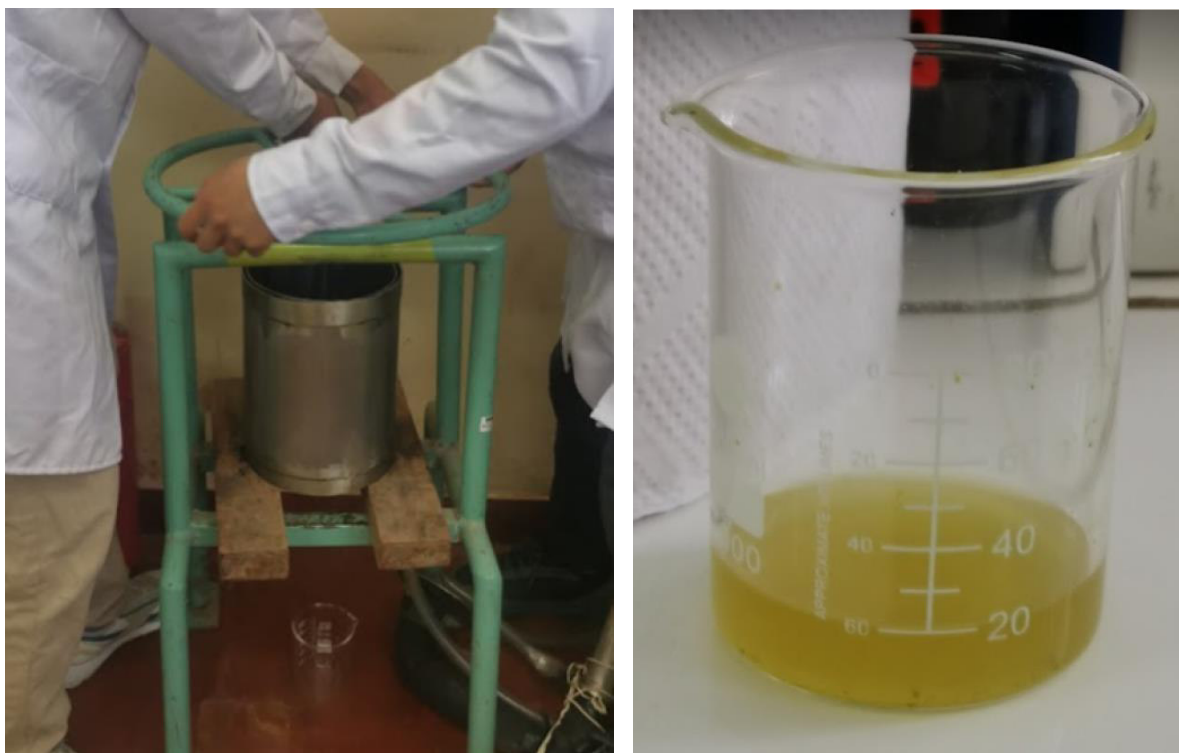
*Colocado de la harina de Moringa oleífera dentro de los recipientes de la prensa.*



Fuente propia

**Figura 14**

*Prensado de la Moringa oleífera y extracción del aceite*



Fuente propia

**Figura 15**

*Torta de la harina de Moringa oleífera, después del desengrasado*



Fuente propia

**Figura 16**

*Último secado de la Moringa oleífera después de desengrasado.*



Fuente propia

**Figura 17**

*Harina de Moringa oleífera ya desengrasada y horneada.*



Fuente propia

**Figura 18**

*Tamizado de la harina de Moringa oleifera*



Fuente propia

#### ***3.4.10. Preparación de la solución coagulante orgánico***

Para obtener una concentración del 1% necesitaríamos 1 gramo de semillas de moringa por cada 100 ml de agua destilada. En este caso para preparar 1 litro de solución coagulante al 1%, utilizamos 10 gramos de la harina de moringa.

**Figura 19**

*Pesado de la harina de Moringa oleífera: 1.0 gr. (Balanza analítica digital)*



Fuente propia

**Figura 20**

*Desinfección del matraz de Erlenmeyer con agua destilada para evitar contaminantes*



Fuente propia

**Figura 21**

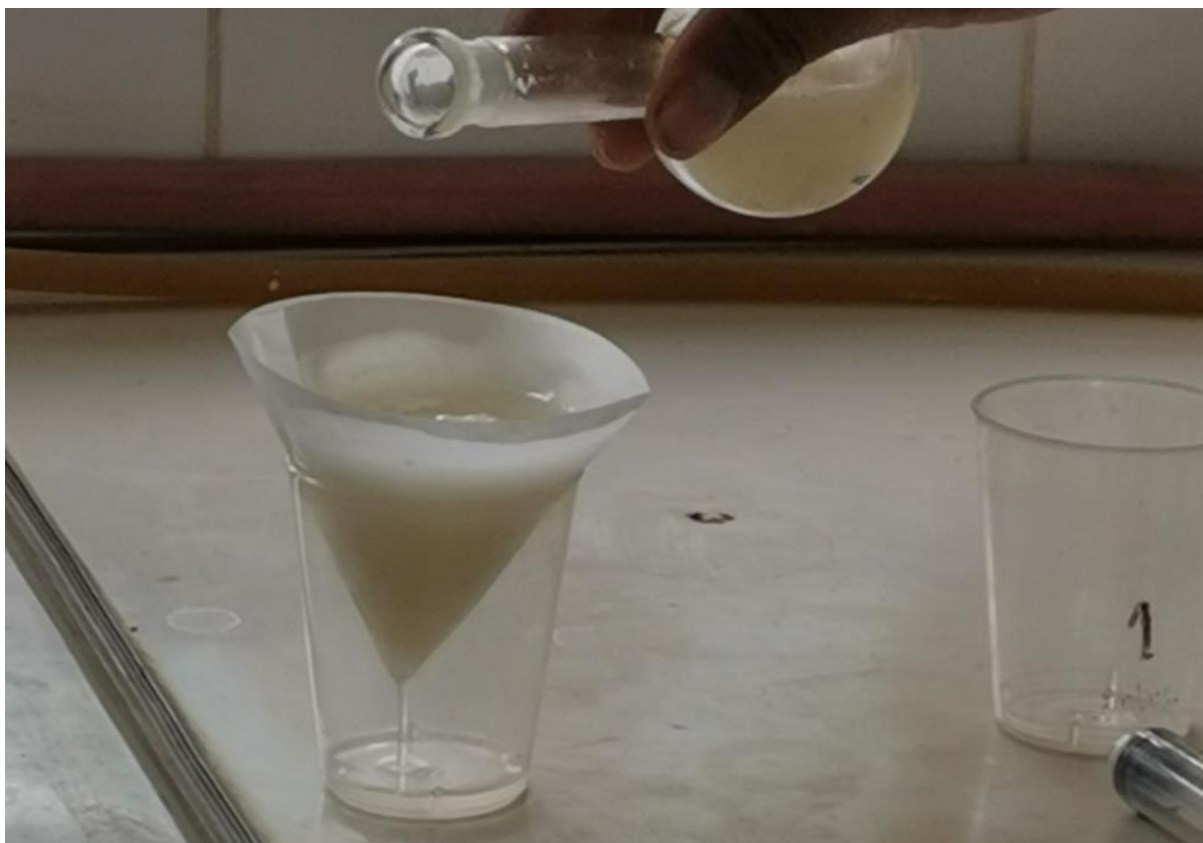
*Agitación de la solución del coagulante Moringa oleifera 1,0 g en 100 ml de agua destilada*



Fuente propia

**Figura 22**

*Filtración de la mezcla obtenida por la presencia de partículas flotantes*



Fuente propia

### 3.4.11. Dosificación para cada jarra

**Figura 23**

*Distribución del coagulante disuelto con una pipeta para dosis de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/L en 6 recipientes.*



Fuente propia

**Figura 24**

*Extracción del coagulante ya dosificado en las jeringas respectivamente*



Fuente propia

**Figura 25**

*Aplicación de la prueba de jarras*



Fuente propia

### **3.5. Procedimientos**

Se recolectaron muestras de agua meteórica siguiendo protocolos científicos y almacenadas a 4°C para preservar su calidad (APHA, 2017). Se prepararon soluciones de Moringa oleifera (en agua salina al 3% y destilada) y sulfato de aluminio, con dosificaciones de 5 a 50 mg/L, siguiendo intervalos establecidos por Silva et al. (2021). El tratamiento incluyó mezcla rápida (200 rpm, 2 min), floculación lenta (40 rpm, 20 min) y sedimentación (45 min), como sugieren APHA (2017) y Montgomery (2017).

Se evaluaron turbidez, color, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. Se aplicaron análisis descriptivos, pruebas de normalidad y t de Student, confirmando reducciones significativas en turbidez y color, y determinando la dosis óptima del coagulante.

Silva et al. (2021) demostraron que la Moringa oleifera redujo el 75% del color y el 79% de la turbidez con una dosis de 20 mg/L, utilizando mezcla rápida (200 rpm, 2 min), floculación lenta (40 rpm, 20 min) y sedimentación (45 min). El estudio destacó su eficacia y sostenibilidad frente a los coagulantes inorgánicos.

#### **3.5.1. *Recolección de Muestras de Agua Meteórica***

##### **Selección de puntos:**

Se seleccionaron puntos estratégicos representativos de las condiciones locales en Huamanga, asegurando muestras que reflejen características generales del agua meteórica (Hernández-Sampieri et al., 2014).

##### **Preparación de recipientes:**

Las muestras se recolectaron en recipientes estériles de vidrio o plástico, previamente lavados, enjuagados con agua destilada y esterilizados en autoclave a 121°C por 15 minutos

(APHA, 2017).

#### **Recolección durante lluvia:**

Los recipientes se colocaron en áreas abiertas, libres de obstrucciones como techos o vegetación, y se cerraron herméticamente tras llenarse (Aubrey, 2019).

#### **Transporte y almacenamiento:**

Las muestras fueron transportadas en cajas isotérmicas y almacenadas a 4°C para evitar alteraciones en sus propiedades. Fueron analizadas en un máximo de 24 horas (APHA, 2017).

### **3.5.2. Preparación de Coagulantes Orgánicos**

#### **3.5.2.1. Moringa en Agua Destilada:**

Siguiendo el procedimiento descrito por Silva et al. (2021), las semillas maduras de *Moringa oleifera* fueron lavadas, secadas, descascaradas y trituradas hasta obtener un polvo fino. Previamente, se realizó la extracción del aceite de las semillas para maximizar la capacidad coagulante de las proteínas presentes. Se pesaron cantidades específicas (5 a 50 mg) y se mezclaron con 1 litro de agua destilada, asegurando homogeneidad mediante agitación. Posteriormente, la solución fue filtrada para eliminar partículas no disueltas y utilizada de inmediato, o almacenada en recipientes estériles a 4°C por un máximo de 24 horas. Este método garantiza la calidad y eficacia del coagulante en el tratamiento de agua meteórica.

#### **3.5.2.2. Moringa en Agua Salada:**

Las semillas de *Moringa oleifera* fueron lavadas, secadas, descascaradas, trituradas y se les extrajo el aceite para maximizar su capacidad coagulante. Se preparó una solución salina al 3% disolviendo 30 g de cloruro de sodio en 1 litro de agua destilada, a la cual se añadieron entre 5 y 50 mg de polvo de *Moringa*. La mezcla se agitó para asegurar homogeneidad y se

filtró para remover partículas no disueltas. La solución se utilizó de inmediato o se almacenó a 4°C por un máximo de 24 horas. Este procedimiento, respaldado por Al-Gheethi et al. (2019), demostró ser eficaz en la clarificación de agua de mar, reduciendo turbidez y contaminantes.

### **3.5.3. *Diseño Experimental***

El diseño experimental evaluó la efectividad de Moringa en agua destilada y en solución salina al 3% de forma independiente. Se aplicaron concentraciones de Moringa de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/L. Cada tratamiento se replicó 4 veces, generando un total de 120 experimentos. Se midieron parámetros de calidad del agua como turbidez, color, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT). El objetivo fue determinar la concentración óptima de Moringa para mejorar la calidad del agua meteórica en cada tipo de solución.

### **3.5.4. *Test de Jarras***

Se utilizó el Test de Jarras para evaluar la eficacia de Moringa oleifera en la remoción de turbidez y color del agua. Se prepararon soluciones con concentraciones variables (5, 10, 15, ..., 50 mg/L) y se añadieron a muestras de agua meteórica. La mezcla fue agitada a 200 rpm durante 2 minutos y luego a 40 rpm durante 20 minutos para la floculación. Finalmente, se dejó sedimentar durante 45 minutos.

Se midieron los parámetros de turbidez, color, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (SDT).

Este procedimiento fue respaldado por Silva et al. (2021), quienes confirmaron la efectividad de Moringa oleifera en la remoción de turbidez y color, y Al-Gheethi et al. (2019), quienes aplicaron un protocolo similar para clarificar agua con solución de agua de mar, logrando una significativa reducción de contaminantes.

### **3.6. Análisis de datos**

El análisis de datos en esta investigación se realizó mediante pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk), prueba t de Student para muestras relacionadas y estadística descriptiva (media, desviación estándar, rangos e intervalos de confianza). Los resultados de la prueba t mostraron diferencias significativas entre las mediciones de turbidez y color antes y después del tratamiento con *Moringa oleifera*. Este enfoque está respaldado por Hernández-Sampieri et al. (2014), quienes destacan la utilidad de la prueba t para comparar medias antes y después de un tratamiento. Además, el análisis de correlación fue utilizado para evaluar la relación entre la concentración del coagulante y los resultados en turbidez y color, siguiendo las pautas descritas por Tamayo y Tamayo (2009) para estudios correlacionales. Los resultados confirmaron la efectividad de *Moringa oleifera* en la mejora de la calidad del agua.

### **3.7. Consideraciones éticas**

Se garantizaron prácticas éticas en el manejo de los recursos hídricos y el cumplimiento de normativas ambientales. La investigación promovió el uso sostenible de *Moringa oleifera* para mejorar la calidad del agua, beneficiando a las poblaciones vulnerables, y respetando principios de confidencialidad y transparencia en la documentación y análisis de los datos.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha considerado estrictamente los lineamientos dados por la Universidad Nacional Federico Villarreal.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Introducción a los Resultados

Los resultados obtenidos en el estudio proporcionan información detallada sobre la efectividad del uso de *Moringa oleifera* como coagulante en el tratamiento de agua de lluvia, midiendo varios parámetros clave. Se evaluaron las variaciones en la turbidez, color, materia orgánica, pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (SDT) antes y después del tratamiento. Estos resultados permitieron identificar la concentración óptima de *Moringa oleifera* para lograr la mejor clarificación del agua y observar el impacto del tratamiento en cada uno de estos parámetros.

### 4.2. Características iniciales del agua

**Tabla 2.**

*Características fisicoquímicas iniciales del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbidez	7.6 NTU	7.8 NTU	7.2 NTU	7.4 NTU
Color	22.3 UPC	22.1 UPC	21.8 UPC	21.9 UPC
pH	6.0	5.9	5.6	5.8
Conductividad eléctrica	24 $\mu\text{S}/\text{cm}$	26 $\mu\text{S}/\text{cm}$	25 $\mu\text{S}/\text{cm}$	23 $\mu\text{S}/\text{cm}$
SDT (Sólidos disueltos totales)	15 ppt	16 ppt	13 ppt	15 ppt

*Fuente propia*

### 4.3. Aplicación de moringa en solución de agua destilada

#### 4.3.1. Remoción de la turbiedad

En referencia a la norma ISO 7027-1:2016, que establece los métodos para la determinación de la turbidez en la calidad del agua, se realizó el experimento siguiendo sus directrices.

**Tabla 3.***Turbidez inicial del agua de lluvia*

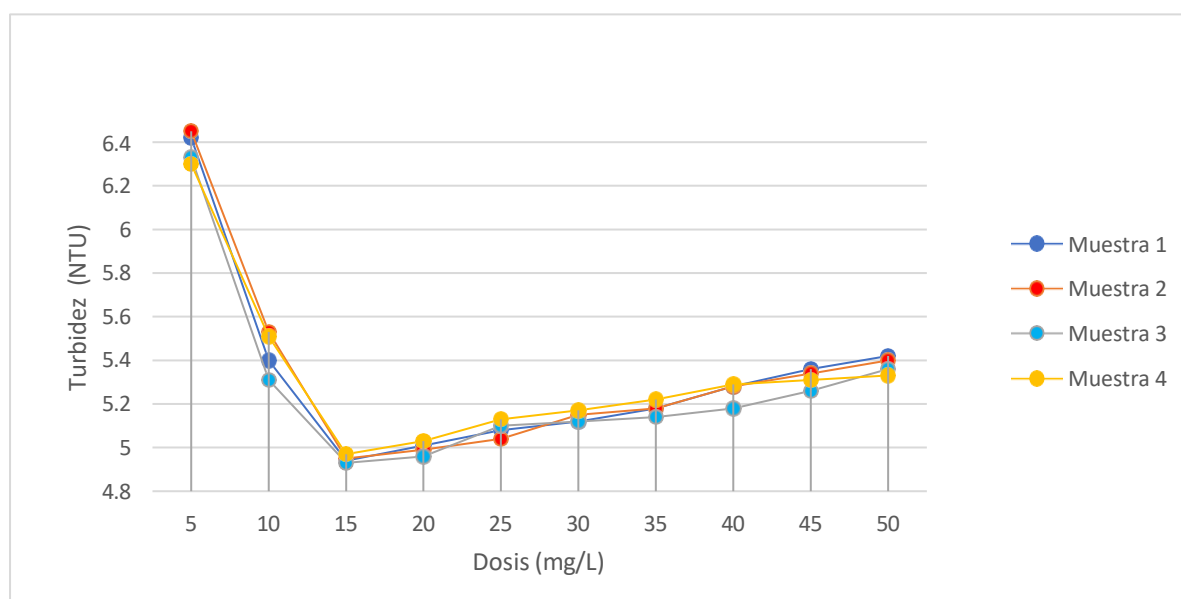
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbidez	7.6 NTU	7.8 NTU	7.2 NTU	7.4 NTU

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** *Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	6.42	6.45	6.33	6.3
10	5.4	5.53	5.31	5.51
15	4.94	4.95	4.93	4.97
20	5.01	4.99	4.96	5.03
25	5.08	5.04	5.1	5.13
30	5.12	5.15	5.12	5.17
35	5.18	5.18	5.14	5.22
40	5.28	5.28	5.18	5.29
45	5.36	5.34	5.26	5.31
50	5.42	5.4	5.36	5.33

Fuente: Elaboración propia

**Figura 26***Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se presenta la turbidez del agua medida en diferentes dosis de MOSAD. Para cada dosis, se realizaron cuatro mediciones (Muestra 1 a Muestra 4). Los resultados muestran cómo varió la turbidez del agua tratada con concentraciones de MOSAD que van desde 5 mg/L hasta 50 mg/L. Cada dato refleja la turbidez observada en una réplica del experimento.

La turbidez moderada, influida por partículas en suspensión, disminuye significativamente con 15 mg/L de MOSAD, alcanzando un promedio de 4.95 NTU. Esta dosis es la más efectiva entre las evaluadas para reducir la turbidez del agua.

#### 4.3.2. *Análisis del color del agua tratada*

La NTP-ISO 7887:2014, Calidad del agua - Examen y determinación del color establece los métodos y procedimientos específicos para medir el color del agua, asegurando que cumpla con los estándares de calidad necesarios para el consumo humano. La norma es basada en la ISO 7887:2011, ampliamente reconocida a nivel internacional, y es utilizada para garantizar que el agua destinada al consumo humano no tenga un color perceptible, lo que podría indicar la presencia de contaminantes.

**Tabla 5.**

*Color inicial del agua de lluvia*

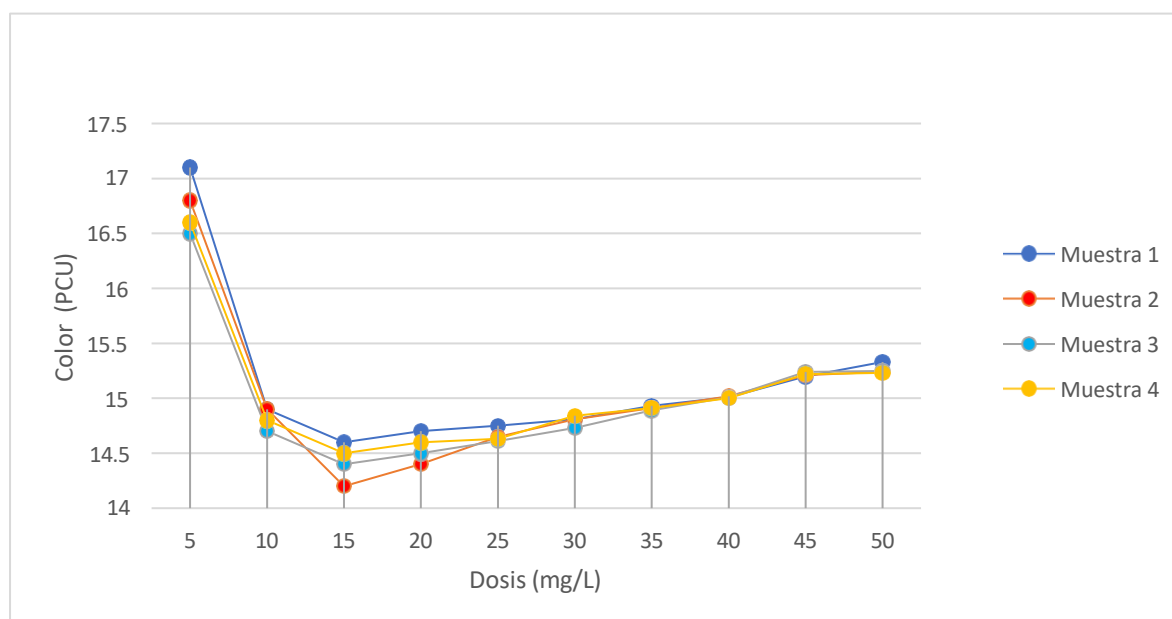
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Color (PCU)	22.3	22.1	21.8	21.9

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.***Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	17.1	16.8	16.5	16.6
10	14.9	14.9	14.7	14.8
15	14.6	14.2	14.4	14.5
20	14.7	14.4	14.5	14.6
25	14.75	14.65	14.61	14.63
30	14.81	14.81	14.73	14.84
35	14.93	14.91	14.89	14.91
40	15.01	15.02	15.01	15
45	15.2	15.21	15.24	15.22
50	15.33	15.24	15.25	15.23

Fuente: Elaboración propia

**Figura 27***Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los datos, se observa que el color del agua disminuye con MOSAD, alcanzando su menor valor con 15 mg/L, lo que indica que esta dosis es la más efectiva para mejorar la claridad del agua.

### 4.3.3. *Análisis del pH del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 - Agua potable y agua cruda; establece los parámetros y requisitos para garantizar que el pH del agua tratada se mantenga dentro de un rango seguro para el consumo humano, generalmente entre 6.5 y 8.5. Además, la norma también se alinea con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), asegurando que los experimentos realizados para evaluar el pH del agua cumplan con los estándares nacionales e internacionales de calidad.

**Tabla 7.**

*pH inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
pH	6	5.9	5.82	5.8

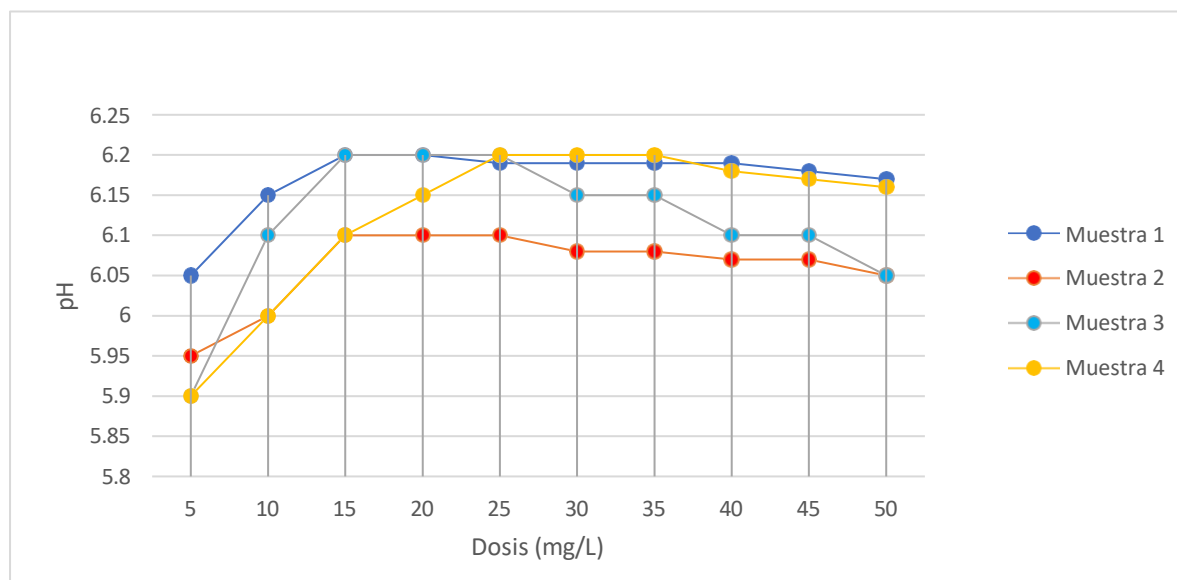
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.**

*pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	6.05	5.95	5.9	5.9
10	6.15	6	6.1	6
15	6.2	6.1	6.2	6.1
20	6.2	6.1	6.2	6.15
25	6.19	6.1	6.2	6.2
30	6.19	6.08	6.15	6.2
35	6.19	6.08	6.15	6.2
40	6.19	6.07	6.1	6.18
45	6.18	6.07	6.1	6.17
50	6.17	6.05	6.05	6.16

Fuente: Elaboración propia

**Figura 28***pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Fuente: Elaboración propia

El pH del agua se mantiene estable entre 5.9 y 6.2 con las dosis de MOSAD evaluadas, indicando que el coagulante no altera significativamente la acidez o alcalinidad, siendo adecuado para garantizar agua tratada apta para consumo humano o uso ambiental.

#### 4.3.4. *Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 - Agua potable y agua cruda; establece los límites aceptables para la conductividad eléctrica del agua, asegurando que el agua tratada sea segura para el consumo humano. La norma se basa en estándares internacionales y nacionales, asegurando que la conductividad del agua esté dentro de los rangos recomendados, generalmente no superior a 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para evitar problemas de salinidad o presencia excesiva de minerales disueltos que podrían afectar la salud.

**Tabla 9.***Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia*

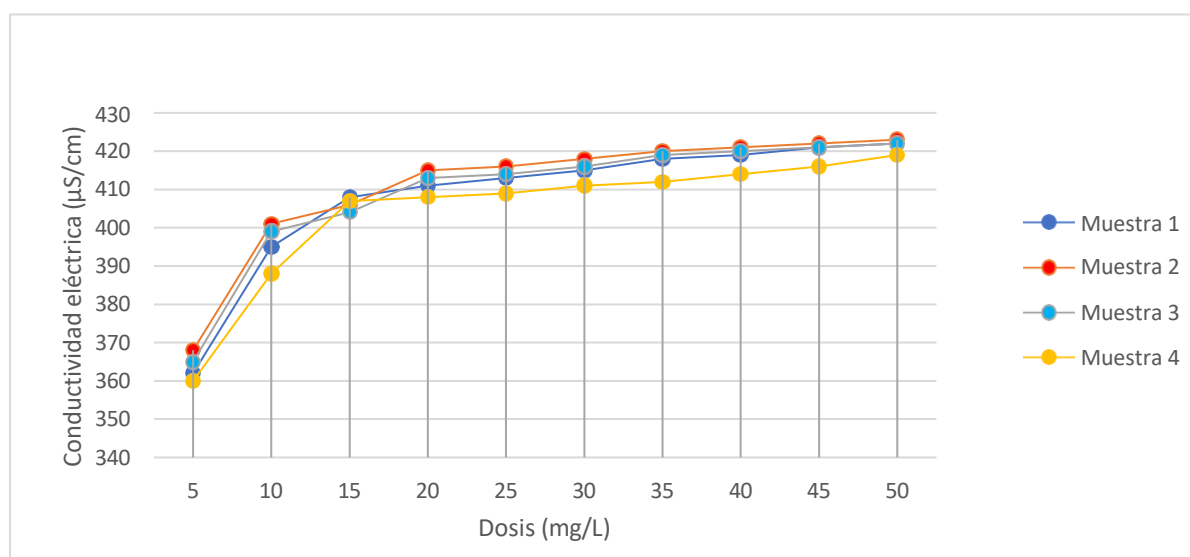
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	24	26	25	23

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.***Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	348	350	349	344
10	362	358	362	360
15	376	372	373	377
20	386	380	382	380
25	395	392	388	386
30	401	401	398	392
35	408	410	408	402
40	412	411	414	412
45	412	413	415	413
50	414	413	415	414

Fuente: Elaboración propia

**Figura 29***Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la conductividad eléctrica del agua aumenta de manera progresiva a medida que se incrementa la dosis de MOSAD. Este incremento en la conductividad sugiere que la adición de MOSAD introduce más iones en el agua, lo que aumenta su capacidad para conducir electricidad. Este comportamiento es consistente con la naturaleza del coagulante, que al disolverse, libera iones en el agua, incrementando así la conductividad. Este resultado indica que, aunque MOSAD es efectivo en la coagulación, su uso también implica un aumento en la conductividad del agua tratada, lo que podría tener implicaciones para su calidad dependiendo de los estándares establecidos para el agua destinada a diferentes usos.

#### 4.3.5. *Análisis del SDT del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 establece un límite de 500 mg/L de SDT para garantizar la calidad y seguridad del agua potable, alineándose con normativas internacionales y nacionales para proteger la salud pública y asegurar su potabilidad.

**Tabla 11.**

*SDT inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
SDT (ppm)	15	16	13	15

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.**

*SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

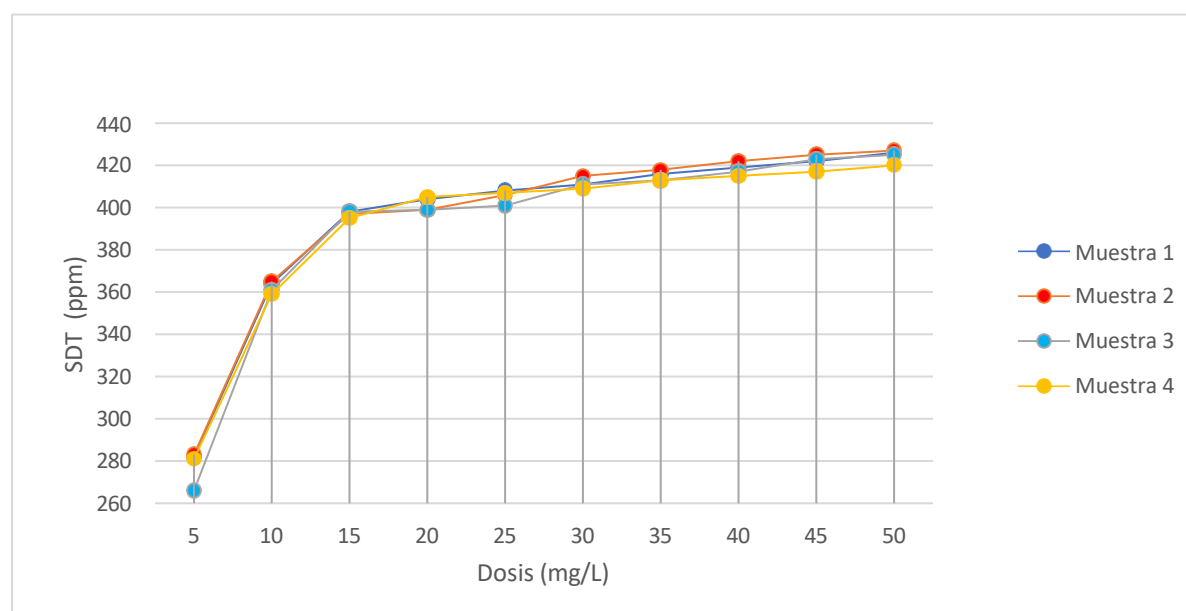
Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	278	282	279	279
10	342	340	338	338
15	364	367	369	366
20	392	392	389	390
25	398	396	394	400

30	406	404	404	402
35	414	416	418	416
40	422	428	429	422
45	431	436	440	432
50	440	442	444	442

Fuente: Elaboración propia

**Figura 30**

*SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*



Fuente: Elaboración propia

Los datos muestran un aumento continuo de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el agua con el incremento de la dosis de MOSAD. Esto sugiere que, al añadir mayores cantidades de MOSAD, la cantidad de sustancias disueltas en el agua se eleva, lo que refleja la disolución del coagulante y la consecuente introducción de más partículas solubles. Aunque el uso de MOSAD es efectivo para el proceso de coagulación, este incremento en los SDT debe ser considerado, especialmente en relación con los estándares de calidad del agua para su uso final.

#### 4.4. Aplicación de moringa en solución salina

##### 4.4.1. Remoción de la turbiedad

En referencia a la norma ISO 7027-1:2016, que establece los métodos para la determinación de la turbidez en la calidad del agua, se realizó el experimento siguiendo sus directrices.

**Tabla 13.**

*Turbidez inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbidez	7.6 NTU	7.8 NTU	7.2 NTU	7.4 NTU

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.**

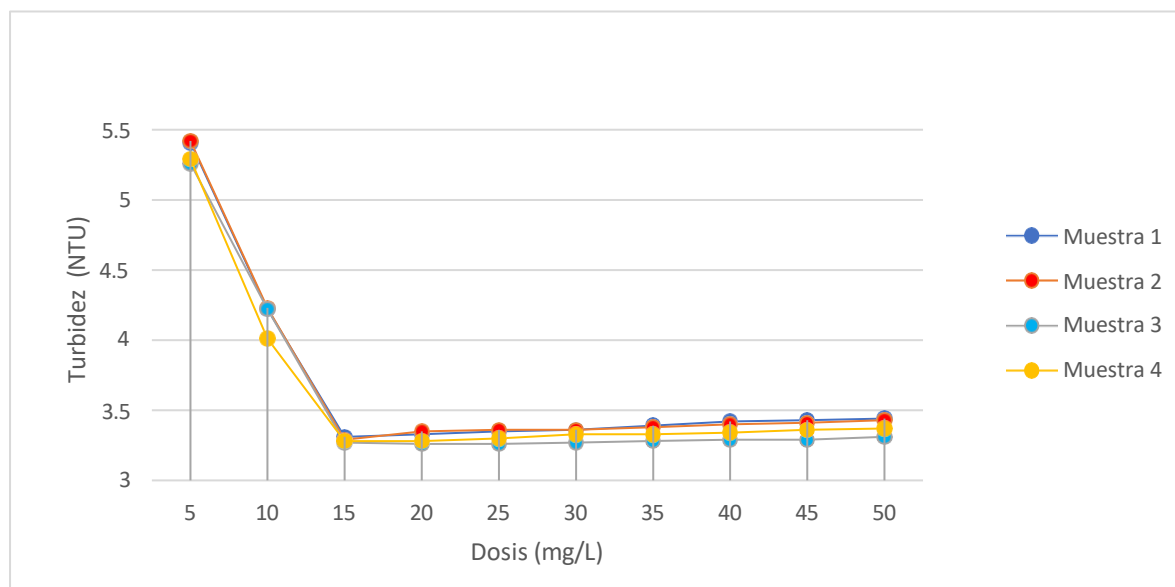
*Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	5.41	5.42	5.26	5.29
10	4.22	4.23	4.22	4.01
15	3.31	3.29	3.27	3.28
20	3.33	3.35	3.26	3.28
25	3.35	3.36	3.26	3.3
30	3.36	3.36	3.27	3.33
35	3.39	3.38	3.28	3.33
40	3.42	3.4	3.29	3.34
45	3.43	3.41	3.29	3.36
50	3.44	3.43	3.31	3.37

Fuente: Elaboración propia

**Figura 31**

*Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*



Fuente: Elaboración propia

Al revisar los datos, se puede observar que la turbidez del agua disminuye de manera notable a medida que se incrementa la dosis de MOSS, con la reducción más significativa observada a 15 mg/L, donde la turbidez promedio alcanza los 3.29 NTU. Este valor sugiere que 15 mg/L es la dosis más efectiva para clarificar el agua, ya que las dosis superiores no logran una reducción adicional significativa en la turbidez. A partir de los 20 mg/L, la turbidez se estabiliza, indicando que mayores cantidades de MOSS no mejoran sustancialmente la calidad del agua en términos de claridad.

#### **4.4.2. Análisis del color del agua tratada**

La NTP-ISO 7887:2014, Calidad del agua - Examen y determinación del color establece los métodos y procedimientos específicos para medir el color del agua, asegurando que cumpla con los estándares de calidad necesarios para el consumo humano. La norma es basada en la ISO 7887:2011, ampliamente reconocida a nivel internacional, y es utilizada para garantizar

que el agua destinada al consumo humano no tenga un color perceptible, lo que podría indicar la presencia de contaminantes.

**Tabla 15.**

*Color inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Color (PCU)	22.3	22.1	21.8	21.9

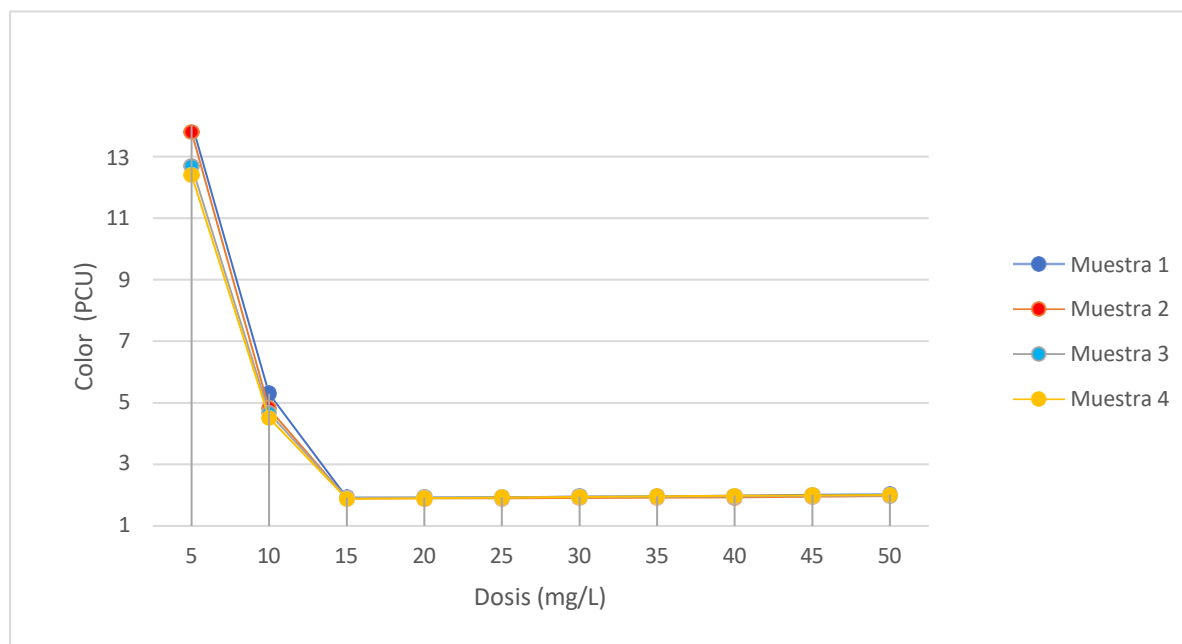
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16.**

*Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	14.1	13.8	12.7	12.4
10	5.3	4.81	4.66	4.51
15	1.92	1.89	1.91	1.88
20	1.92	1.9	1.92	1.9
25	1.93	1.9	1.93	1.92
30	1.95	1.91	1.95	1.94
35	1.96	1.92	1.95	1.96
40	1.98	1.93	1.96	1.98
45	2.01	1.95	1.98	1.99
50	2.02	1.97	1.98	2

Fuente: Elaboración propia

**Figura 32***Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los datos, se observa que el color del agua disminuye con la aplicación de MOSAD, alcanzando los valores más bajos en la dosis de 15 mg/L. Este resultado sugiere que, similar a la turbidez, la dosificación de 15 mg/L también es la más efectiva para reducir el color del agua, logrando una mayor claridad en comparación con las otras concentraciones evaluadas.

#### 4.4.3. *Análisis del pH del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 establece que el pH del agua potable debe mantenerse entre 6.5 y 8.5, alineándose con las recomendaciones de la OMS y garantizando el cumplimiento de estándares internacionales.

**Tabla 17.***pH inicial del agua de lluvia*

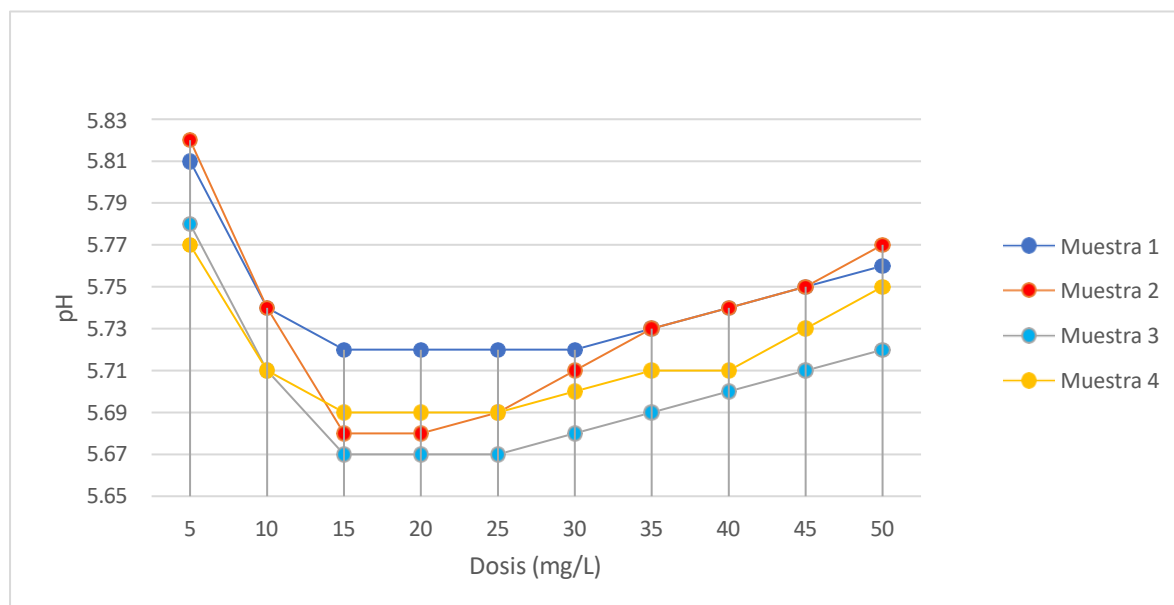
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
pH	6	5.9	5.82	5.8

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18.***pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	5.81	5.82	5.78	5.77
10	5.74	5.74	5.71	5.71
15	5.72	5.68	5.67	5.69
20	5.72	5.68	5.67	5.69
25	5.72	5.69	5.67	5.69
30	5.72	5.71	5.68	5.7
35	5.73	5.73	5.69	5.71
40	5.74	5.74	5.7	5.71
45	5.75	5.75	5.71	5.73
50	5.76	5.77	5.72	5.75

Fuente: Elaboración propia

**Figura 33***pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

Fuente: Elaboración propia

El pH del agua varía ligeramente entre 5.67 y 5.82 con MOSS, mostrando estabilidad a partir de 15 mg/L. Las variaciones son mínimas, indicando que MOSS no altera significativamente la acidez del agua tratada.

#### 4.4.4. *Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 - Agua potable y agua cruda; establece los límites aceptables para la conductividad eléctrica del agua, asegurando que el agua tratada sea segura para el consumo humano. La norma se basa en estándares internacionales y nacionales, asegurando que la conductividad del agua esté dentro de los rangos recomendados, generalmente no superior a 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para evitar problemas de salinidad o presencia excesiva de minerales disueltos que podrían afectar la salud.

**Tabla 19.***Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia*

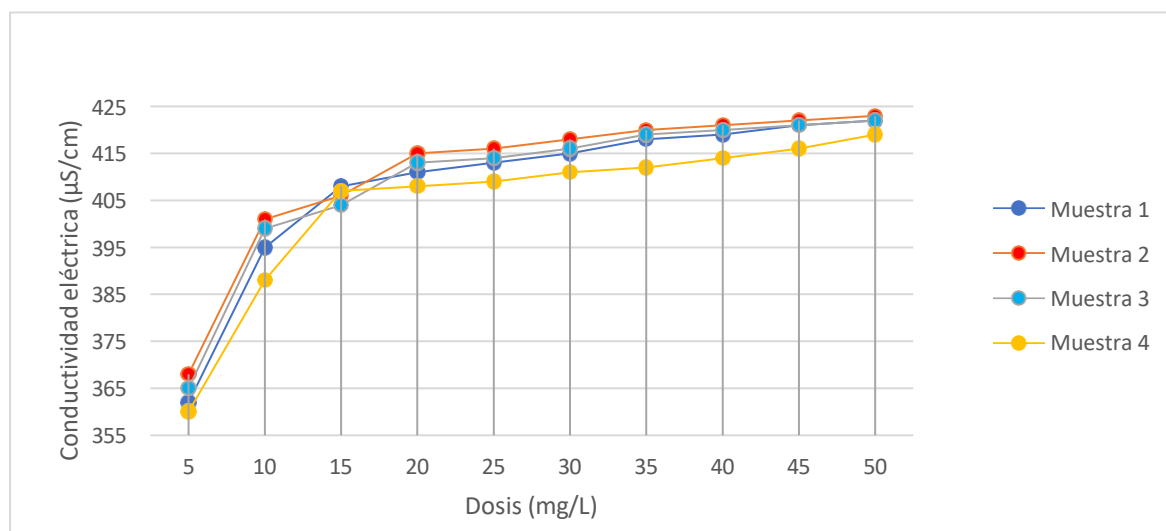
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	24	26	25	23

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20.***Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	362	368	365	360
10	395	401	399	388
15	408	406	404	407
20	411	415	413	408
25	413	416	414	409
30	415	418	416	411
35	418	420	419	412
40	419	421	420	414
45	421	422	421	416
50	422	423	422	419

Fuente: Elaboración propia

**Figura 34***Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

Fuente: Elaboración propia

Los datos muestran que la conductividad eléctrica del agua aumenta consistentemente con la dosis de MOSS, subiendo de 362  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 422  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sin embargo, este incremento se encuentra dentro de los límites permisibles, lo que indica que, a pesar del aumento en la concentración de iones disueltos, la calidad del agua sigue siendo adecuada para el consumo humano.

#### 4.4.5. *Análisis del SDT del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 - Agua potable y agua cruda; regula los experimentos relacionados con los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el agua destinada al consumo humano. Esta norma establece un límite máximo de 500 mg/L de SDT para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad y seguridad. Al basarse en normativas internacionales y nacionales, la NTP 214.027:2019 garantiza que el agua tratada mantenga niveles adecuados de SDT, protegiendo así la salud pública y asegurando la potabilidad del agua.

**Tabla 21.**

*SDT inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
SDT (ppm)	15	16	13	15

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22.**

*SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*

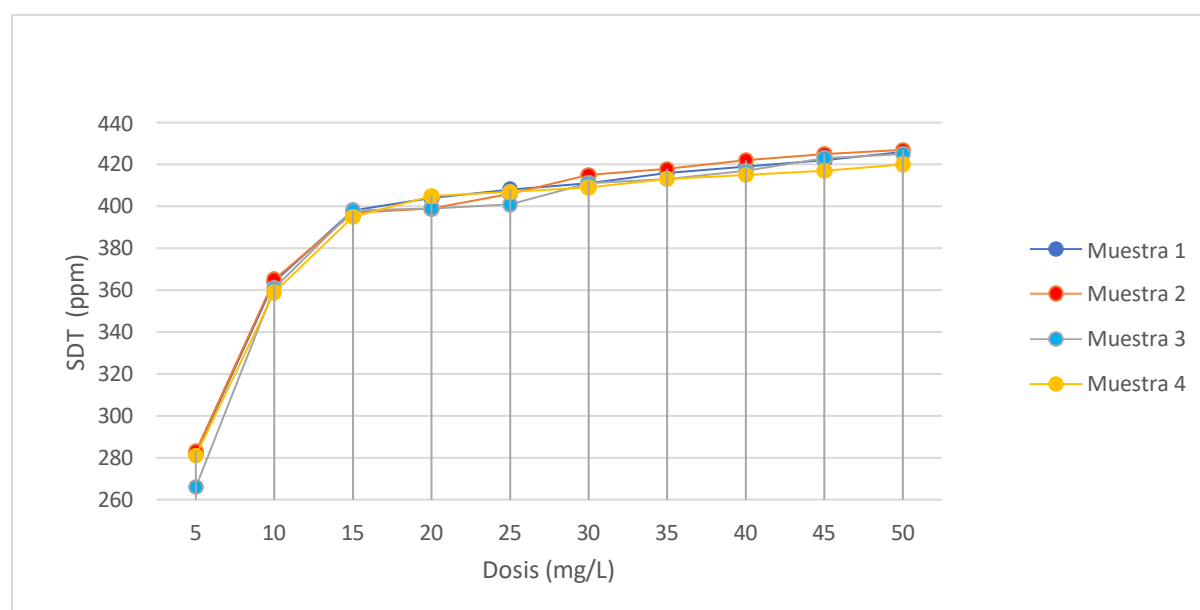
Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	282	283	266	281
10	364	365	361	359
15	398	397	398	395
20	404	399	399	405

25	408	406	401	407
30	411	415	411	409
35	416	418	413	413
40	419	422	417	415
45	422	425	423	417
50	426	427	425	420

Fuente: Elaboración propia

**Figura 35**

*SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSS*



Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el agua aumentan de manera progresiva conforme se incrementa la dosis de MOSS. Los valores suben de aproximadamente 282 mg/L a 426 mg/L a medida que las dosis van de 5 mg/L a 50 mg/L. Este incremento refleja un mayor contenido de partículas disueltas en el agua con el aumento de la concentración de MOSS, lo que es coherente con la introducción de más componentes solubles. Aunque los SDT aumentan de manera constante, los valores se mantienen dentro de límites generalmente aceptados para agua potable, lo que sugiere que, a pesar de la mayor cantidad de sólidos disueltos, el agua tratada aún podría ser apta para el consumo humano.

## 4.5. Aplicación de sulfato de aluminio

### 4.5.1. Remoción de la turbiedad

En referencia a la norma ISO 7027-1:2016, que establece los métodos para la determinación de la turbidez en la calidad del agua, se realizó el experimento siguiendo sus directrices.

**Tabla 23.**

*Turbidez inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbidez	7.6 NTU	7.8 NTU	7.2 NTU	7.4 NTU

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24.**

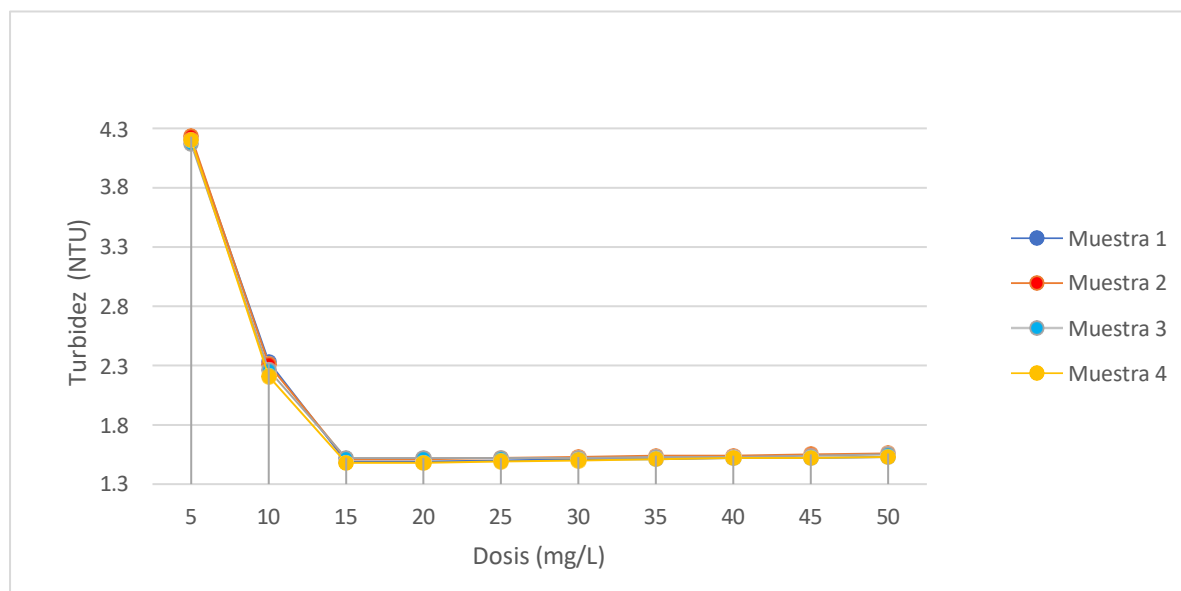
*Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	4.21	4.23	4.17	4.2
10	2.33	2.31	2.26	2.21
15	1.49	1.51	1.52	1.48
20	1.49	1.51	1.52	1.48
25	1.5	1.52	1.52	1.49
30	1.51	1.53	1.52	1.5
35	1.51	1.54	1.53	1.51
40	1.52	1.54	1.53	1.52
45	1.52	1.55	1.54	1.52
50	1.53	1.56	1.55	1.53

Fuente: Elaboración propia

**Figura 36**

*Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*



Fuente: Elaboración propia

La turbidez del agua disminuye significativamente de 4.21 NTU a 1.49 NTU entre 5 mg/L y 15 mg/L de sulfato de aluminio, estabilizándose en 1.5 NTU. Esto confirma su alta eficacia en la clarificación, especialmente a 15 mg/L.

#### **4.5.2. Análisis del color del agua tratada**

La NTP-ISO 7887:2014, Calidad del agua - Examen y determinación del color establece los métodos y procedimientos específicos para medir el color del agua, asegurando que cumpla con los estándares de calidad necesarios para el consumo humano. La norma es basada en la ISO 7887:2011, ampliamente reconocida a nivel internacional, y es utilizada para garantizar que el agua destinada al consumo humano no tenga un color perceptible, lo que podría indicar la presencia de contaminantes.

**Tabla 25.***Color inicial del agua de lluvia*

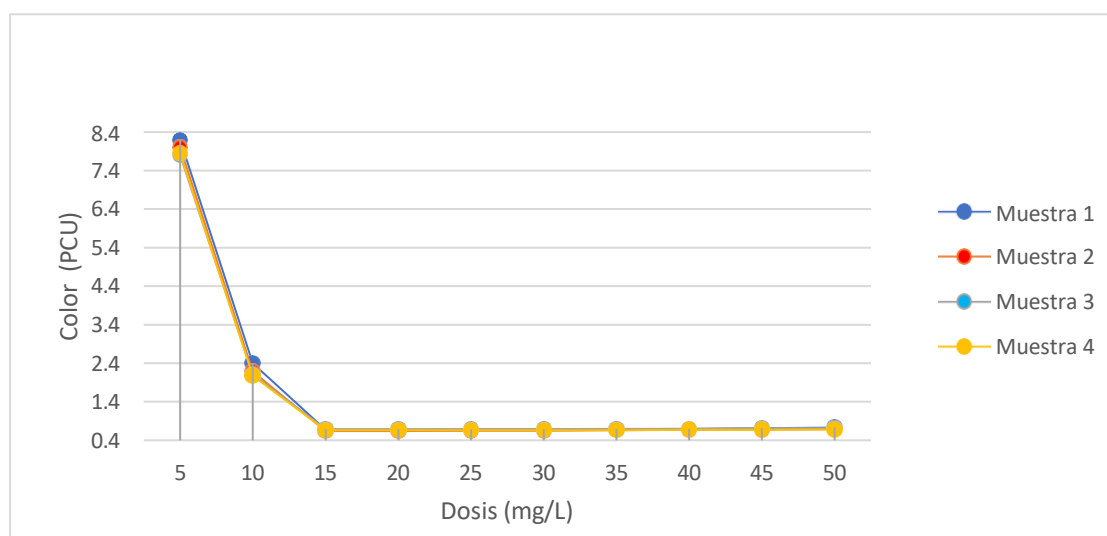
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Color (PCU)	22.3	22.1	21.8	21.9

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26.***Color del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	8.2	8	7.8	7.85
10	2.4	2.18	2.11	2.08
15	0.67	0.64	0.69	0.66
20	0.67	0.64	0.69	0.66
25	0.68	0.65	0.69	0.66
30	0.68	0.65	0.69	0.66
35	0.69	0.66	0.7	0.66
40	0.7	0.67	0.7	0.67
45	0.71	0.68	0.71	0.67
50	0.73	0.69	0.71	0.68

Fuente: Elaboración propia

**Figura 37***Color del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

Fuente: Elaboración propia

El sulfato de aluminio reduce significativamente el color del agua de 8.2 a 0.67 unidades entre 5 mg/L y 15 mg/L, estabilizándose a partir de esta dosis. Esto confirma su alta eficacia en la eliminación del color, logrando agua visualmente clara.

#### 4.5.3. *Análisis del pH del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 - Agua potable y agua cruda; establece los parámetros y requisitos para garantizar que el pH del agua tratada se mantenga dentro de un rango seguro para el consumo humano, generalmente entre 6.5 y 8.5. Además, la norma también se alinea con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), asegurando que los experimentos realizados para evaluar el pH del agua cumplan con los estándares nacionales e internacionales de calidad.

**Tabla 27.**

*pH inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
pH	6	5.9	5.82	5.8

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28.**

*pH del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

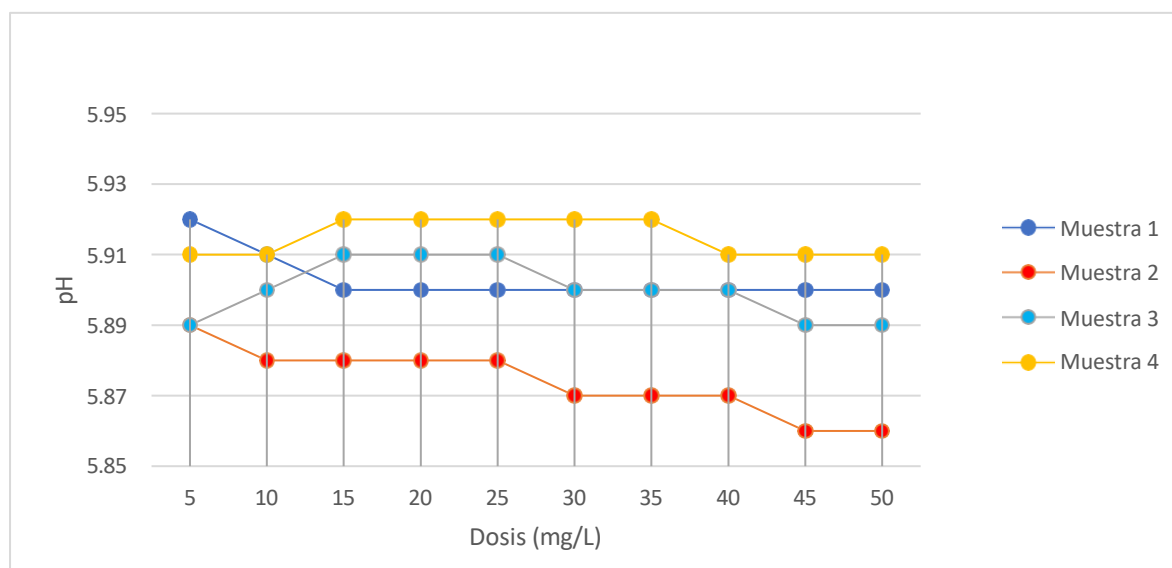
Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	5.92	5.89	5.89	5.91
10	5.91	5.88	5.9	5.91
15	5.9	5.88	5.91	5.92
20	5.9	5.88	5.91	5.92
25	5.9	5.88	5.91	5.92
30	5.9	5.87	5.9	5.92
35	5.9	5.87	5.9	5.92

40	5.9	5.87	5.9	5.91
45	5.9	5.86	5.89	5.91
50	5.9	5.86	5.89	5.91

Fuente: Elaboración propia

**Figura 38**

*pH del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*



Fuente: Elaboración propia

El pH del agua se mantiene estable entre 5.86 y 5.92 con el sulfato de aluminio, indicando que no afecta significativamente la acidez o alcalinidad del agua. Este resultado garantiza su adecuación para consumo humano sin necesidad de ajustes adicionales.

#### 4.5.4. *Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 - Agua potable y agua cruda; establece los límites aceptables para la conductividad eléctrica del agua, asegurando que el agua tratada sea segura para el consumo humano. La norma se basa en estándares internacionales y nacionales, asegurando que la conductividad del agua esté dentro de los rangos recomendados, generalmente no superior a 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para evitar problemas de salinidad o presencia excesiva de minerales disueltos que podrían afectar la salud.

**Tabla 29.***Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia*

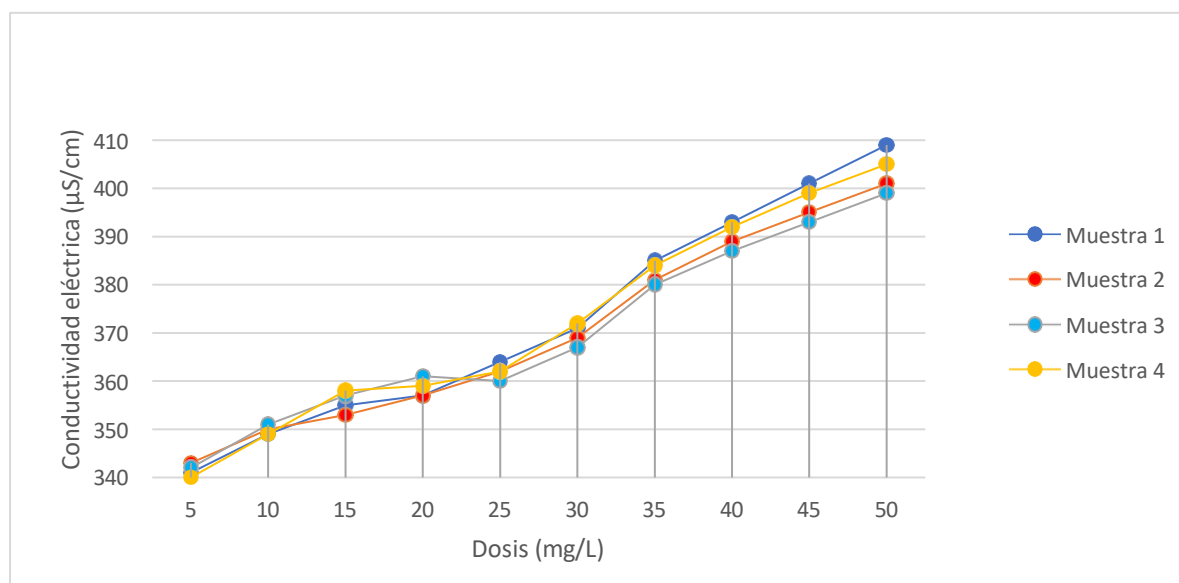
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	24	26	25	23

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30.***Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	341	343	342	340
10	349	350	351	349
15	355	353	357	358
20	357	357	361	359
25	364	362	360	362
30	371	369	367	372
35	385	381	380	384
40	393	389	387	392
45	401	395	393	399
50	409	401	399	405

Fuente: Elaboración propia

**Figura 39***Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran un incremento gradual en la conductividad eléctrica del agua a medida que se incrementa la dosis de sulfato de aluminio, comenzando desde aproximadamente 341  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la dosis de 5 mg/L hasta alcanzar 409  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la dosis de 50 mg/L. Este aumento en la conductividad eléctrica indica una mayor presencia de iones disueltos en el agua, lo que es un reflejo directo de la adición de sulfato de aluminio. La tendencia ascendente sugiere que, a medida que se incrementa la dosis de coagulante, más iones se liberan en la solución, aumentando la conductividad. Este comportamiento es esperado, dado que el sulfato de aluminio, al disociarse en el agua, introduce iones que contribuyen a la conductividad. Sin embargo, aunque la conductividad aumenta, es importante verificar si estos valores siguen dentro de los límites aceptables para el agua potable, asegurando que el tratamiento no comprometa la calidad del agua.

#### 4.5.5. *Análisis del SDT del agua tratada*

La NTP 214.027:2019 - Agua potable y agua cruda; regula los experimentos relacionados con los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el agua destinada al consumo humano. Esta norma establece un límite máximo de 500 mg/L de SDT para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad y seguridad. Al basarse en normativas internacionales y nacionales, la NTP 214.027:2019 garantiza que el agua tratada mantenga niveles adecuados de SDT, protegiendo así la salud pública y asegurando la potabilidad del agua.

**Tabla 31.**

*SDT inicial del agua de lluvia*

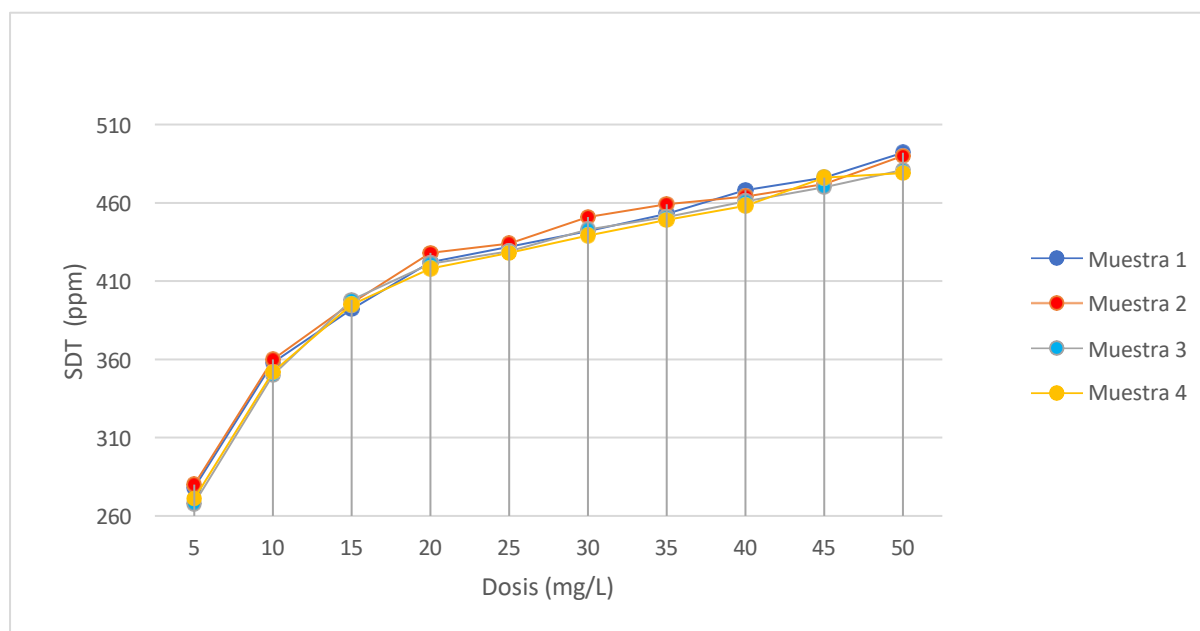
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
SDT (ppm)	15	16	13	15

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32.***SDT del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	278	280	268	271
10	358	360	350	352
15	392	396	398	395
20	422	428	421	418
25	432	434	429	428
30	442	451	443	439
35	453	459	451	449
40	468	464	461	458
45	476	472	470	476
50	492	490	481	479

Fuente: Elaboración propia

**Figura 40***SDT del Agua a Diferentes Dosis de Sulfato de Aluminio*

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que los Sólidos Disueltos Totales (SDT) aumentan progresivamente con mayores dosis de sulfato de aluminio, pasando de 278 mg/L a 492 mg/L. Esto refleja una mayor cantidad de sustancias disueltas en el agua a medida que se incrementa

la dosis del coagulante. Es importante asegurar que estos valores se mantengan dentro de los límites permitidos para garantizar la calidad del agua potable.

#### **4.6. Análisis Estadístico**

##### **4.6.1. Hipótesis Específica $\alpha$**

$H_{0-\alpha}$ = La solución salina de Moringa no reduce significativamente la turbidez del agua meteórica.

$H_{1-\alpha}$ = La solución salina de Moringa reduce significativamente la turbidez del agua meteórica.

##### **a) Nivel de significancia ALPHA**

El nivel de significancia  $\alpha$  es un umbral utilizado en pruebas estadísticas para determinar si los resultados son suficientemente fuertes para rechazar la hipótesis nula, con un riesgo de error de Tipo I. El valor más comúnmente asumido es  $\alpha=0.05$  (5%), aunque puede variar según el contexto, como  $\alpha=0.01$  en estudios que requieren mayor rigor o  $\alpha=0.10$  en estudios exploratorios.

El nivel de significancia  $\alpha$  representa el porcentaje de error que estamos dispuestos a aceptar al rechazar la hipótesis nula en un análisis estadístico, para ello se asume el valor de  $\alpha=0.05 = 5\%$  porque se consideró que este nivel de significancia, popularizado por Ronald Fisher, ofrece un buen equilibrio entre el riesgo de error y la detección de efectos reales, siendo un estándar ampliamente aceptado.

##### **b) Elección de la prueba**

La elección de la prueba para verificar la normalidad depende principalmente del tamaño de la muestra:

Prueba de Shapiro-Wilk: Se recomienda para muestras pequeñas ( $n < 50$ ) debido a su alta sensibilidad y precisión en detectar desviaciones de la normalidad.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S): Es más adecuada para muestras grandes ( $n > 50$ ), aunque es menos sensible que Shapiro-Wilk.

Dado que la investigación cuenta con 120 experimentos, lo más adecuado es utilizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para verificar la normalidad de los datos.

### c) Cálculo del P-valor

La prueba de normalidad se utiliza para determinar si los datos de una muestra provienen de una distribución normal, lo cual es un supuesto importante para muchas pruebas estadísticas.

**Tabla 33.**

*Descriptivos*

		Estadístico	Desv. Error
Turbidez inicial	Media	7,5000	,12910
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	7,0891	
	Límite superior	7,9109	
	Media recortada al 5%	7,5000	
	Mediana	7,5000	
	Varianza	,067	
	Desv. Desviación	,25820	
	Mínimo	7,20	
	Máximo	7,80	
	Rango	,60	
	Rango intercuartil	,50	
	Asimetría	,000	1,014
	Curtosis	-1,200	2,619
Turbidez final	Media	3,2875	,00854
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	3,2603	
	Límite superior	3,3147	
	Media recortada al 5%	3,2872	
	Mediana	3,2850	
	Varianza	,000	
	Desv. Desviación	,01708	
	Mínimo	3,27	

Máximo	3,31	
Rango	,04	
Rango intercuartil	,03	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34.**

*Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Turbidez inicial	,151	4	.	,993	4	,972
Turbidez final	,192	4	.	,971	4	,850

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35.**

*Normalidad*

Intervención	P-Valor	Relación	Nivel de significancia ( $\alpha$ )
Antes	0,151	>	0.05
Después	0,192	>	0.05

Fuente: Elaboración propia

Por tanto se acepta la hipótesis nula  $H_0$  (los datos provienen de una distribución normal) en base al p-valor obtenido, se concluye que los datos de "Turbidez" siguen una distribución normal. En consecuencia, es apropiado utilizar la prueba t de Student para dos muestras relacionadas, también conocida como prueba t pareada, para comparar los valores de turbidez "antes" y "después" del tratamiento. Esta prueba permitirá evaluar si existe una diferencia significativa entre las medidas de turbidez antes y después de la intervención.

**d) Prueba de homogeneidad**

**Tabla 36.***Estadísticas de muestras emparejadas*

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Turbidez inicial	7,5000	4	,25820	,12910
	Turbidez final	3,2875	4	,01708	,00854

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37.***Pruebas de muestras emparejadas*

	Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desvia ción	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior			
Turbidez inicial - Turbidez final	4,21250	,24690	,12345	3,81963 4,60537	34,123	3	,000

Fuente: Elaboración propia

La significancia estadística  $P_{\text{Valor}}=0.000 < \alpha=0.05$

Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que existe una diferencia significativa en las medias de la turbidez antes y después del tratamiento. Esto sugiere que el tratamiento con Moringa en solución salina tiene efectos significativos sobre la calidad del agua. Específicamente, la turbidez del agua disminuyó en promedio de 7.5 a 3.2875 UNT, lo que confirma la eficacia del tratamiento en la clarificación del agua.

#### 4.6.2. *Hipótesis Específica b*

$H_{0-b}$ = La solución salina de Moringa no es efectiva en la reducción del color en el agua meteórica.

$H_{1-b}$  = La solución salina de Moringa es efectiva en la reducción del color en el agua meteórica.

**a) Nivel de significancia ALPHA**

Se asume el valor de  $\alpha=0.05 = 5\%$

**b) Elección de la prueba**

Se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para verificar la normalidad de los datos.

**c) Cálculo del P-valor**

**Tabla 38.**

*Descriptivos*

	Estadístico	Desv. Error
Turbidez inicial		
Media	7,5000	,12910
95% de intervalo de confianza para la media	7,0891 7,9109	
Media recortada al 5%	7,5000	
Mediana	7,5000	
Varianza	,067	
Desv. Desviación	,25820	
Mínimo	7,20	
Máximo	7,80	
Rango	,60	
Rango intercuartil	,50	
Asimetría	,000	1,014
Curtosis	-1,200	2,619
Turbidez final		
Media	3,2875	,00854
95% de intervalo de confianza para la media	3,2603 3,3147	
Media recortada al 5%	3,2872	
Mediana	3,2850	
Varianza	,000	
Desv. Desviación	,01708	
Mínimo	3,27	
Máximo	3,31	

Rango	,04	
Rango intercuartil	,03	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 39.**

*Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Turbidez inicial	,214	4	.	,963	4	,798
Turbidez final	,208	4	.	,950	4	,714

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40.**

*Normalidad*

Intervención	P-Valor	Relación	Nivel de significancia ( $\alpha$ )
Antes	0,214	>	0.05
Después	0,208	>	0.05

Fuente: Elaboración propia

Por tanto se acepta la hipótesis nula  $H_0$  (los datos provienen de una distribución normal) en base al p-valor obtenido, se concluye que los datos de "Color" siguen una distribución normal. En consecuencia, es apropiado utilizar la prueba t de Student para dos muestras relacionadas, también conocida como prueba t pareada, para comparar los valores de turbidez "antes" y "después" del tratamiento. Esta prueba permitirá evaluar si existe una diferencia significativa entre las medidas de turbidez antes y después de la intervención.

**d) Prueba de homogeneidad**

**Tabla 41.**

*Estadísticas de muestras emparejadas*

Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
-------	---	---------------------	----------------------

Par 1	Turbidez inicial	22,0250	4	,22174	,11087
	Turbidez final	1,9000	4	,01826	,00913

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 42.**

*Pruebas de muestras emparejadas*

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Turbidez inicial - Turbidez final	20,12500	,21486	,10743	19,78310	20,46690	187,328	3	,000

Fuente: Elaboración propia

La significancia estadística  $P_{\text{Valor}}=0.000 < \alpha=0.05$

Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que existe una diferencia significativa en las medias de l color del agua antes y después del tratamiento. Esto sugiere que el tratamiento con Moringa en solución salina tiene efectos significativos sobre la calidad del agua. Específicamente, el color del agua disminuyó en promedio de 22,0250 a 1.9 PCU, lo que confirma la eficacia del tratamiento en la clarificación del agua.

#### 4.6.3. *Hipótesis Específica c*

$H_{0-c}$ = No existe una dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) que maximiza la calidad del agua meteórica tratada para consumo humano.

$H_{1-c}$ = Existe una dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) que maximiza la calidad del agua meteórica tratada para consumo humano.

**a) Nivel de significancia ALPHA**

Se asume el valor de  $\alpha=0.05 = 5\%$

**b) Elección de la prueba**

Se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para verificar la normalidad de los datos.

**c) Cálculo del P-valor**

**Tabla 43.**

*Descriptivos*

Muestra		Estadístico	Desv. Error	
Dosificación	Muestra 1	Media	3,6660	,21148
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,1876	
			Límite superior 4,1444	
		Media recortada al 5%	3,5889	
		Mediana	3,4050	
		Varianza	,447	
		Desv. Desviación	,66875	
		Mínimo	3,31	
		Máximo	5,41	
		Rango	2,10	
		Rango intercuartil	,29	
		Asimetría	2,448	,687
		Curtosis	5,927	1,334
	Muestra 2	Muestra 2	Media	3,6630
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,1804	
			Límite superior 4,1456	
		Media recortada al 5%	3,5861	
		Mediana	3,3900	
		Varianza	,455	
		Desv. Desviación	,67469	
		Mínimo	3,29	
		Máximo	5,42	
		Rango	2,13	
	Rango intercuartil	,27		

	Asimetría	2,441	,687
	Curtosis	5,875	1,334
Muestra 3	Media	3,5710	,20974
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,0965	
		Límite superior 4,0455	
	Media recortada al 5%	3,4944	
	Mediana	3,2850	
	Varianza	,440	
	Desv. Desviación	,66327	
	Mínimo	3,26	
	Máximo	5,26	
	Rango	2,00	
	Rango intercuartil	,27	
	Asimetría	2,328	,687
	Curtosis	5,105	1,334
Muestra 4	Media	3,5890	,20115
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3,1340	
		Límite superior 4,0440	
	Media recortada al 5%	3,5117	
	Mediana	3,3350	
	Varianza	,405	
	Desv. Desviación	,63611	
	Mínimo	3,28	
	Máximo	5,29	
	Rango	2,01	
	Rango intercuartil	,24	
	Asimetría	2,612	,687
	Curtosis	6,920	1,334

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 44.**

*Pruebas de normalidad*

	Muestra	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Dosificació	Muestra 1	,432	10	,000	,579	10	,000
n	Muestra 2	,435	10	,000	,574	10	,000
	Muestra 3	,453	10	,000	,549	10	,000
	Muestra 4	,435	10	,000	,548	10	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

En todos los casos, el p-valor es menor que 0.05, lo que lleva a aceptar la hipótesis alterna  $H_1$  (los datos provienen de una distribución no paramétrica).

### d) Prueba de homogeneidad

**Tabla 45.**

*Prueba de homogeneidad de varianzas*

		Estadístico de Levene	de gl1	gl2	Sig.
Dosificación	Se basa en la media	,019	3	36	,996
	Se basa en la mediana	,005	3	36	,999
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,005	3	35,937	,999
	Se basa en la media recortada	,016	3	36	,997

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 46.**

*ANOVA*

Dosificación					
	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,073	3	,024	,056	,002
Dentro de grupos	15,723	36	,437		
Total	15,796	39			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 47.**

*Comparaciones múltiples*

Variable dependiente: Dosificación						
(I) Muestra	(J) Muestra	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
HSD Tuke y	Muestra 2	,00300	,29555	1,000	-,7930	,7990
	Muestra 3	,09500	,29555	,988	-,7010	,8910
	Muestra 4	,07700	,29555	,994	-,7190	,8730
2	Muestra 1	-,00300	,29555	1,000	-,7990	,7930
	Muestra 3	,09200	,29555	,989	-,7040	,8880
	Muestra 4	,07400	,29555	,994	-,7220	,8700
3	Muestra 1	-,09500	,29555	,988	-,8910	,7010
	Muestra 2	-,09200	,29555	,989	-,8880	,7040

	Muestra 4	-,01800	,29555	1,000	-,8140	,7780
Muestra 4	Muestra 1	-,07700	,29555	,994	-,8730	,7190
	Muestra 2	-,07400	,29555	,994	-,8700	,7220
	Muestra 3	,01800	,29555	1,000	-,7780	,8140

Fuente: Elaboración propia

La significancia estadística  $P_{\text{Valor}}=0.000 < \alpha=0.05$

Dado que el p-valor (0.002) es menor que el nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , se rechaza la hipótesis nula. Esto significa que existen diferencias significativas entre las dosificaciones evaluadas. En otras palabras, las diferentes dosificaciones del tratamiento tuvieron un efecto significativo en el resultado medido. Al analizar los resultados específicos, se determina que la dosis de 15 mg/L es la más efectiva. Esta dosis produjo el mejor resultado en comparación con las otras, confirmando su superioridad en el tratamiento aplicado.

#### 4.6.5. *Hipótesis General*

**H<sub>0</sub>**= El tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos no mejora significativamente la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023.

**H<sub>1</sub>**= El tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos mejora significativamente la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023.

##### a) Nivel de significancia ALPHA

Se asume el valor de  $\alpha=0.05 = 5\%$

##### b) Elección de la prueba

Se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para verificar la normalidad de los datos.

### c) Cálculo del P-valor

**Tabla 48.**

*Descriptivos*

	Estadístico	Desv. Error
Turbidez inicial		
Media	7,5000	,12910
95% de intervalo de confianza para la media		
Límite inferior	7,0891	
Límite superior	7,9109	
Media recortada al 5%	7,5000	
Mediana	7,5000	
Varianza	,067	
Desv. Desviación	,25820	
Mínimo	7,20	
Máximo	7,80	
Rango	,60	
Rango intercuartil	,50	
Asimetría	,000	1,014
Curtosis	-1,200	2,619
Turbidez final		
Media	3,2875	,00854
95% de intervalo de confianza para la media		
Límite inferior	3,2603	
Límite superior	3,3147	
Media recortada al 5%	3,2872	
Mediana	3,2850	
Varianza	,000	
Desv. Desviación	,01708	
Mínimo	3,27	
Máximo	3,31	
Rango	,04	
Rango intercuartil	,03	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 49.**

*Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Turbidez inicial	,151	4	.	,993	4	,972



Turbidez inicial -	4,21250	,24690	,12345	3,81963	4,60537	34,123	3	,000
Turbidez final								

Fuente: Elaboración propia

La significancia estadística  $P_{\text{Valor}}=0.000 < \alpha=0.05$

Dado que la significancia estadística del p-valor es 0.000, que es menor que el nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna  $H_1$ . Esto significa que hay evidencia estadísticamente significativa para concluir que el tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos mejora significativamente la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados coinciden con estudios previos. Silva et al. (2021) en Brasil demostraron que *Moringa oleifera* redujo un 75% el color y un 79% la turbidez con 20 mg/L. En este estudio, con una dosis de 15 mg/L, se alcanzaron valores óptimos de 3.29 NTU (turbidez) y 1.90 UPC (color), mostrando alta eficacia con dosis ligeramente menores.

De manera similar, los hallazgos concuerdan con Al-Gheethi et al. (2019) en Arabia Saudita, quienes destacaron que *Moringa* en solución salina redujo la turbidez en un 85% con 20 mg/L y eliminó contaminantes. Aquí, el incremento en conductividad y SDT refleja la liberación de iones, alineándose con esos resultados.

Aunque el sulfato de aluminio también fue efectivo, la *Moringa oleifera* destaca como una alternativa sostenible y biodegradable, adecuada para el tratamiento de agua en Huamanga. Este estudio confirma su eficacia como coagulante orgánico, respaldando investigaciones internacionales.

### 5.1. Reducción de la Turbidez

La solución salina de *Moringa oleifera* mostró una alta eficacia en la reducción de la turbidez, logrando un valor óptimo de 3.29 NTU con una dosis de 15 mg/L, confirmando su efectividad como coagulante natural en el tratamiento de agua meteórica.

### 5.2. Reducción del color

La solución salina de *Moringa oleifera* logró reducir significativamente el color del agua meteórica, alcanzando un valor óptimo de 1.88 PCU con una dosis de 15 mg/L, demostrando su eficacia en la clarificación del agua.

### 5.3. Dosis Óptima de Coagulante

La dosis óptima de coagulante para el tratamiento de agua meteórica con *Moringa oleifera* fue de 15 mg/L, ya que en esta concentración se logró la mayor reducción de turbidez (3.29 NTU) y color (1.88 PCU), maximizando la calidad del agua tratada.

## VI. CONCLUSIONES

### 6.1. Eficacia de *Moringa oleifera*:

Con una dosis de 15 mg/L, *Moringa oleifera* redujo la turbidez en un 56.13% y el color en un 91.36%, demostrando ser un coagulante orgánico altamente eficiente para el tratamiento de agua meteórica

### 6.2. Comparación con investigaciones previas:

Los resultados coinciden con Silva et al. (2021) y Al-Gheethi et al. (2019), quienes reportaron reducciones significativas de turbidez y color con dosis de 20 mg/L, destacando la efectividad de *Moringa* en diferentes contextos.

### 6.3. Ventajas sobre coagulantes inorgánicos:

Aunque el sulfato de aluminio es efectivo, *Moringa oleifera* se presenta como una alternativa sostenible y biodegradable, adecuada para el tratamiento de agua en Huamanga, reduciendo el impacto ambiental.

### 6.4. Impacto en parámetros fisicoquímicos:

El incremento en conductividad y SDT refleja la liberación de iones debido a la adición de *Moringa*, un comportamiento consistente con la naturaleza de los coagulantes orgánicos.

### 6.1. Relevancia para el contexto local:

Este estudio respalda el uso de *Moringa oleifera* como un método eficaz, sostenible y de bajo costo para mejorar la calidad del agua en comunidades rurales de Huamanga, contribuyendo a soluciones ecológicas para el acceso a agua potable.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **7.1. Aplicación en comunidades rurales:**

Aplicación en comunidades rurales: Implementar el uso de Moringa oleifera como coagulante orgánico en zonas rurales con recursos limitados, priorizando su accesibilidad y sostenibilidad.

### **7.2. Monitoreo constante:**

Realizar controles periódicos de los parámetros de calidad del agua (turbidez, color, pH, conductividad y SDT) para garantizar que el agua tratada cumpla con estándares internacionales.

### **7.3. Capacitación técnica::**

Promover talleres educativos sobre la preparación y uso de soluciones de Moringa oleifera para garantizar un manejo adecuado y maximizar su efectividad.

### **7.4. Investigaciones futuras:**

Explorar combinaciones de Moringa oleifera con otros coagulantes orgánicos para mejorar su eficacia y ampliar su aplicación a diferentes tipos de agua.

## VIII. REFERENCIAS

- Abdul-Wahab, S. A., & Bakheit, C. S. (2018). Rainwater harvesting for sustainable development. *Environmental Management*, 50(4), 383-390.
- Ahmed, M., & Kim, M. (2018). Water quality monitoring: Chemical indicators for effective water management. *Journal of Water Resources*, 45(3), 23-33.
- Albino, V., & Terzoni, S. (2017). Urban water sustainability: Opportunities for rainwater harvesting. *Water Research*, 93(5), 1301-1309.
- Alfaro, M., Torres, L., & Sandoval, G. (2018). Tratamiento de agua turbia con coagulante orgánico de cáscaras de frutas. *Revista Ciencia y Tecnología*, 34(2), 51-59.
- Al-Gheethi, A. A., Mohamed, R. M., & Hashem, A. A. (2019). Efficiency of Moringa oleifera seed extracts in removing turbidity and heavy metals from seawater. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 3321-3333.
- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.
- Aubrey, M. (2019). Rainwater collection systems: Guidelines and implementation. *Environmental Science & Engineering*, 15(3), 97-104.
- Castillo, R., & Fernández, P. (2018). Aplicación del Test de Jarras para optimización de procesos de coagulación. *Revista Ingeniería Ambiental*, 14(2), 124-132.
- Crapper, D. R., Krishnan, S. S., & Dalton, A. J. (1991). Brain aluminum distribution in Alzheimer's disease and experimental neurofibrillary degeneration. *Science*, 180(4085), 511-513.
- Fuentes, C., González, S., & Torres, R. (2019). *Introducción al tratamiento de aguas residuales y potables*. Editorial Técnica Internacional.
- García-Sánchez, E., & López, J. M. (2020). Water treatment and its environmental implications. *Journal of Water Treatment*, 22(4), 45-67.

- Gómez, R., & Pérez, H. (2018). Tecnologías para la gestión del agua meteórica. *Revista de Ingeniería Hidráulica*, 30(4), 35-42.
- Gutiérrez, C., & Torres, A. (2020). Coagulantes orgánicos y su impacto ambiental. *Revista Ecológica*, 18(3), 45-59.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Kanakoudis, V., & Tsitsifli, S. (2012). Rainwater as an alternative source of drinking water: Case studies. *Journal of Water Resources Management*, 26(2), 487-501.
- Kapoor, A., Ahmed, S., & Yunus, M. (2017). Evaluation of turbidity in water treatment processes. *Environmental Engineering Science*, 34(4), 56-64.
- Kumar, A., & Gupta, R. (2019). Moringa oleifera as a natural coagulant in water treatment. *Journal of Environmental Studies*, 15(3), 234-241.
- Lupa, H., Pérez, C., & Vargas, J. (2019). Evaluación del uso de coagulantes orgánicos en aguas superficiales. *Revista Andina de Ciencias del Agua*, 12(1), 15-23.
- Montgomery, D. (2017). *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.). Wiley.
- Nkambule, T. I., & Mthembu, M. N. (2022). Moringa oleifera for the treatment of seawater. *South African Journal of Environmental Management*, 32(5), 67-78.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). WHO Press.
- Paredes, J., & López, M. (2021). Uso de Moringa oleifera en la clarificación de aguas de lluvia. *Revista Arequipeña de Ingeniería Ambiental*, 17(3), 34-45.
- Ramos, S., & Rodríguez, P. (2022). Comparación entre coagulantes orgánicos e inorgánicos en tratamiento de agua. *Revista de Ingeniería Química*, 29(6), 189-200.
- Salas, L., & Pineda, R. (2021). Análisis de tiempo de retención en procesos de coagulación. *Revista Tecnología e Innovación*, 10(4), 78-89.

Silva, P., Monteiro, R., & Cruz, M. (2021). Moringa oleifera as a sustainable coagulant: Reducing turbidity and color. *Brazilian Journal of Environmental Studies*, 35(3), 567-576.

Smith, J., & Jaffé, R. (2017). Water quality issues in tropical regions: The role of stormwater. *Journal of Water Science and Technology*, 65(5), 342-351.

## IX. ANEXOS

### Anexo 1.

Características físicoquímicas del agua

**Tabla 53.**

*Características físicoquímicas iniciales del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida	Indicador
Tratamiento Coagulante Orgánico.	Moringa en Agua Destilada:	Concentración de Moringa en Agua Destilada.
		Medida: mg/L (miligramos por litro) Descripción: Cantidad de extracto de Moringa disuelto en agua destilada para su uso como coagulante.
	Moringa en Agua Salada	Concentración de Moringa en Agua salada Medida: mg/L (miligramos por litro) Descripción: Cantidad de extracto de Moringa disuelto en agua salada para su uso como coagulante.
	Dosis del Coagulante:	Dosis de Moringa Aplicada Medida: mg/L (miligramos por litro). Descripción: La cantidad específica de coagulante (Moringa) añadida al agua meteórica durante el tratamiento.

*Fuente propi*

## Anexo 2.

### Matriz de consistencia

**Título: TRATAMIENTO DE AGUAS METEÓRICAS CON COAGULANTES ORGÁNICOS Y CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO, PROVINCIA DE HUAMANGA, 2023**

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo influye el tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos en la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>A. ¿Qué efecto tiene la solución salina de Moringa sobre la turbidez del agua meteórica?</p> <p>B. ¿Cuál es la efectividad de la solución salina de Moringa en la reducción del color en el agua meteórica?</p> <p>C. ¿Cuál es la dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) en el tratamiento de aguas meteóricas para lograr la mejor calidad de agua para consumo humano?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar cómo influye el tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos en la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>A. Evaluar el efecto de la solución salina de Moringa sobre la turbidez del agua meteórica.</p> <p>B. Determinar la efectividad de la solución salina de Moringa en la reducción del color en el agua meteórica.</p> <p>C. Identificar la dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) en el tratamiento de aguas meteóricas para lograr la mejor calidad de agua para consumo humano.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> El tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos mejora significativamente la calidad del agua para consumo humano en la provincia de Huamanga en 2023.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>A. La solución salina de Moringa reduce significativamente la turbidez del agua meteórica.</p> <p>B. La solución salina de Moringa es efectiva en la reducción del color en el agua meteórica.</p> <p>C. Existe una dosis óptima de coagulante orgánico (Moringa) que maximiza la calidad del agua meteórica tratada para consumo humano.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>X: Tratamiento con coagulante orgánico. Dimensiones A. Moringa en Agua Destilada: Solución de Moringa preparada en agua destilada. B. Moringa en Agua Salada: Solución de Moringa preparada en agua salada. C. Dosis del Coagulante: Diferentes concentraciones de la solución de Moringa (10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L). D. Mezcla de Soluciones: Combinación de soluciones de Moringa en agua destilada y salada.</p> <p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Y: Calidad del Agua para Consumo Humano. Dimensiones A. Turbidez (NTU). B. pH. C. Conductividad Eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>). D. Sólidos Disueltos Totales (TDS) (mg/L). E. Color (unidades Pt-Co). F. Presencia de Microorganismos (UFC/100 mL).</p>	<p><b>Tipo</b> Experimental, prospectivo, longitudinal, analítico</p> <p><b>Nivel</b> Aplicativo</p> <p><b>Diseño</b> Experimental prospectivo-longitudinal</p> <p><b>Población</b> La población está compuesta por 1'056,300 metros cúbicos de aguas meteóricas como la lluvia y granizo de la provincia de Huamanga del año 2023.</p> <p><b>Muestra</b> Se realizará un muestreo probabilístico aleatorio simple, siendo la muestra 1.5 metros cúbicos de aguas meteóricas como la lluvia y granizo de la provincia de Huamanga del año 2023.</p> <p><b>Técnica</b> Análisis documental</p> <p><b>Instrumento</b> Registro</p>

### Anexo 3.

#### Validación y confiabilidad de instrumentos

Para la investigación se validaron los instrumentos utilizados mediante consultas a expertos, calibraciones con estándares certificados y pruebas piloto. Se verificó la validez de contenido, criterio y constructo, además de realizar pruebas de confiabilidad (test-retest). Los instrumentos, como el turbidímetro, espectrofotómetro, medidor de pH y conductímetro, fueron calibrados siguiendo normativas internacionales, garantizando la precisión y reproducibilidad de los resultados.

### Anexo 4.

#### Características iniciales del agua

**Tabla 54.**

*Características fisicoquímicas iniciales del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbidez	7.6 NTU	7.8 NTU	7.2 NTU	7.4 NTU
Color	22.3 UPC	22.1 UPC	21.8 UPC	21.9 UPC
pH	6.0	5.9	5.6	5.8
Conductividad eléctrica	24 $\mu\text{S}/\text{cm}$	26 $\mu\text{S}/\text{cm}$	25 $\mu\text{S}/\text{cm}$	23 $\mu\text{S}/\text{cm}$
SDT (Sólidos disueltos totales)	15 ppt	16 ppt	13 ppt	15 ppt

*Fuente propia*

### Anexo 5.

#### Aplicación de moringa en solución de agua destilada

##### *Remoción de la turbiedad*

En referencia a la norma ISO 7027-1:2016, que establece los métodos para la determinación de la turbidez en la calidad del agua, se realizó el experimento siguiendo sus directrices.

**Tabla 55.***Turbidez inicial del agua de lluvia*

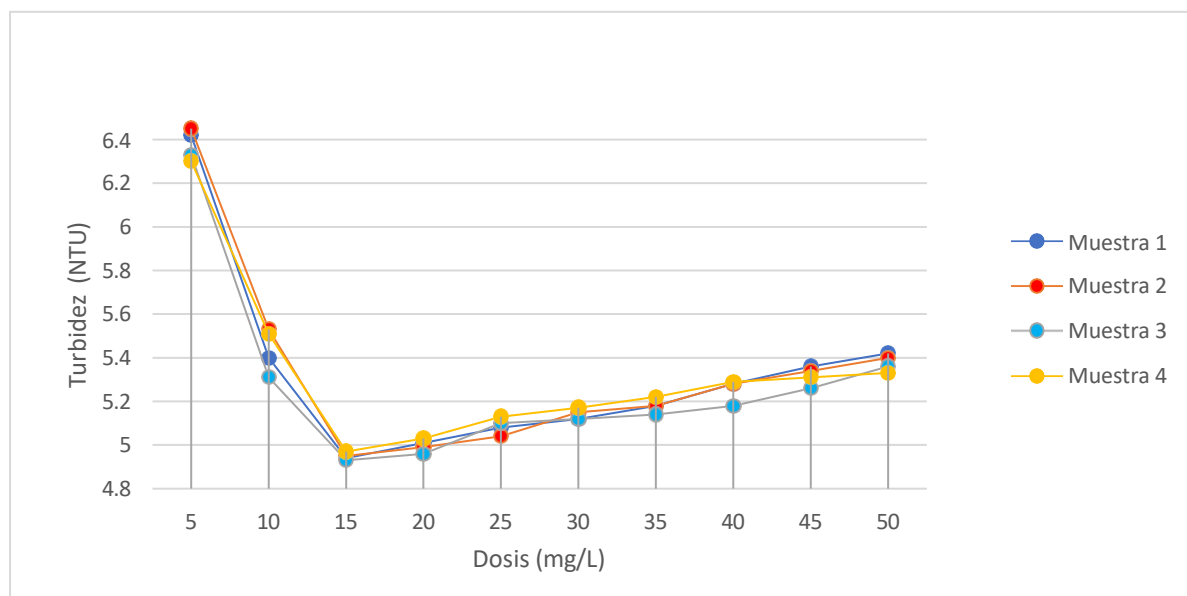
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbidez	7.6 NTU	7.8 NTU	7.2 NTU	7.4 NTU

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 56.***Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	6.42	6.45	6.33	6.3
10	5.4	5.53	5.31	5.51
15	4.94	4.95	4.93	4.97
20	5.01	4.99	4.96	5.03
25	5.08	5.04	5.1	5.13
30	5.12	5.15	5.12	5.17
35	5.18	5.18	5.14	5.22
40	5.28	5.28	5.18	5.29
45	5.36	5.34	5.26	5.31
50	5.42	5.4	5.36	5.33

Fuente: Elaboración propia

**Figura 26***Turbidez del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Fuente: Elaboración propia

*Análisis del color del agua tratada***Tabla 57.***Color inicial del agua de lluvia*

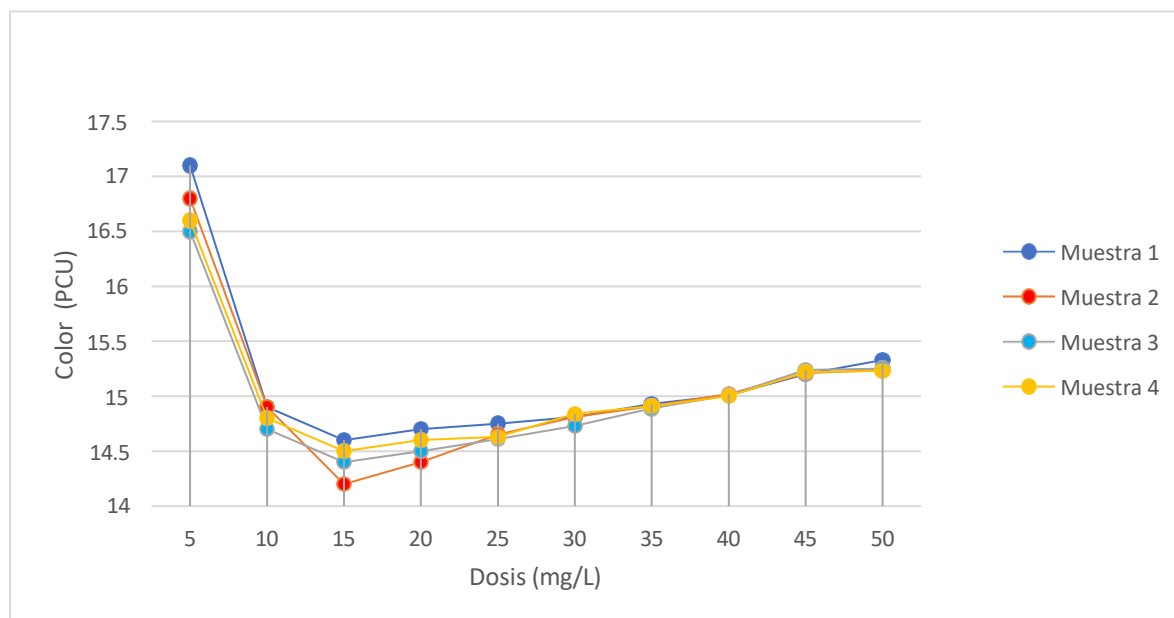
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Color (PCU)	22.3	22.1	21.8	21.9

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 58.***Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	17.1	16.8	16.5	16.6
10	14.9	14.9	14.7	14.8
15	14.6	14.2	14.4	14.5
20	14.7	14.4	14.5	14.6
25	14.75	14.65	14.61	14.63
30	14.81	14.81	14.73	14.84
35	14.93	14.91	14.89	14.91
40	15.01	15.02	15.01	15
45	15.2	15.21	15.24	15.22
50	15.33	15.24	15.25	15.23

Fuente: Elaboración propia

**Figura 27***Color del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Fuente: Elaboración propia

*Análisis del pH del agua tratada***Tabla 59.***pH inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
pH	6	5.9	5.82	5.8

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 60.***pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

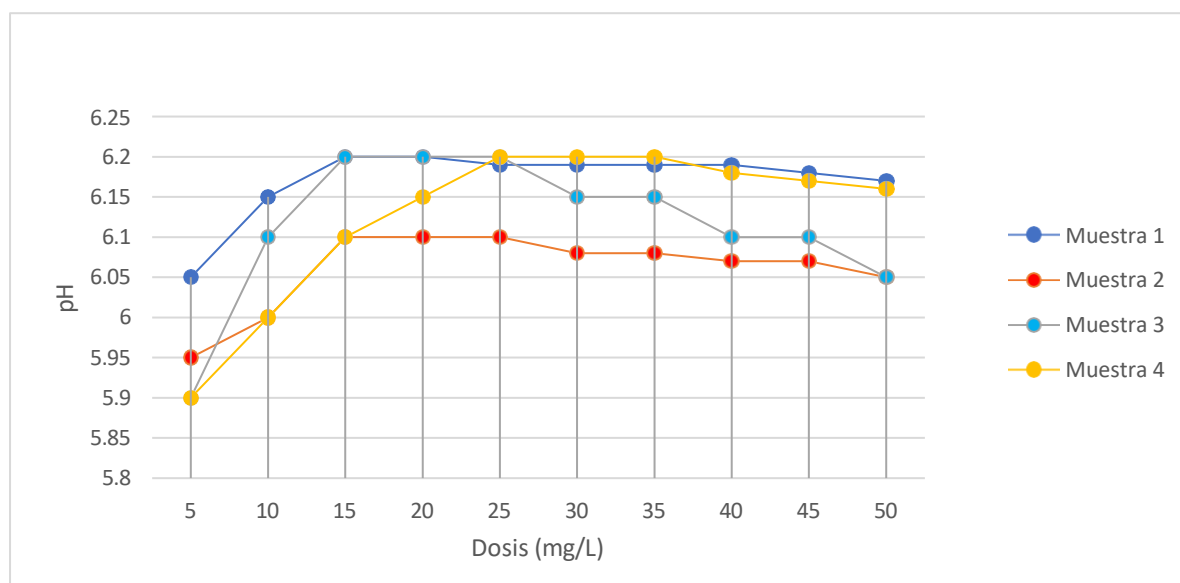
Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	6.05	5.95	5.9	5.9
10	6.15	6	6.1	6
15	6.2	6.1	6.2	6.1
20	6.2	6.1	6.2	6.15
25	6.19	6.1	6.2	6.2
30	6.19	6.08	6.15	6.2
35	6.19	6.08	6.15	6.2

40	6.19	6.07	6.1	6.18
45	6.18	6.07	6.1	6.17
50	6.17	6.05	6.05	6.16

Fuente: Elaboración propia

**Figura 28**

*pH del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*



Fuente: Elaboración propia

*Análisis de la Conductividad eléctrica del agua tratada*

**Tabla 61.**

*Conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia*

Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Conductividad eléctrica (μS/cm)	24	26	25	23

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 62.**

*Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

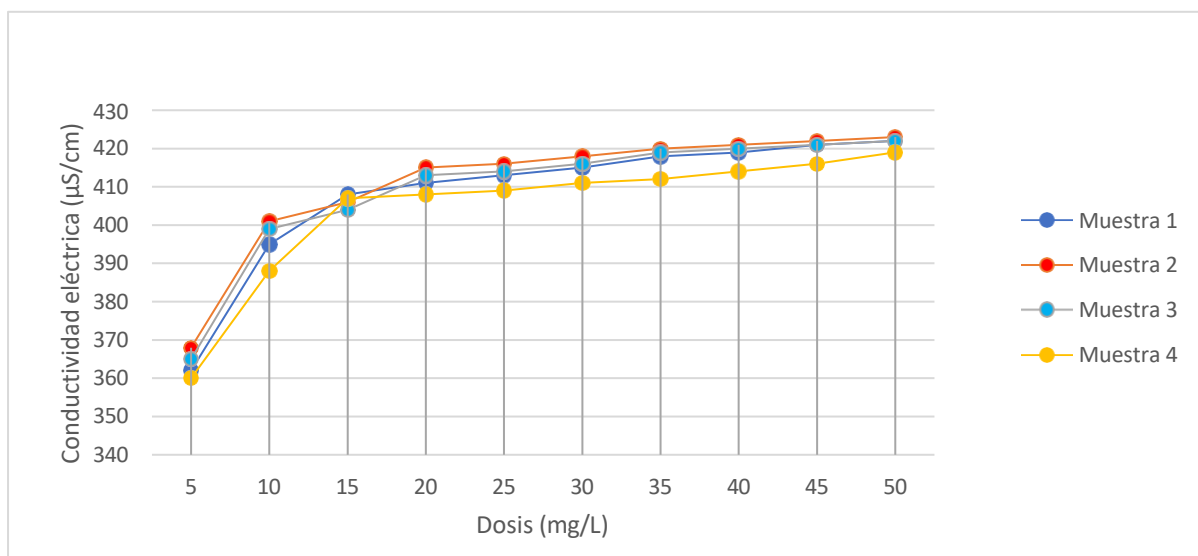
Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	348	350	349	344
10	362	358	362	360

15	376	372	373	377
20	386	380	382	380
25	395	392	388	386
30	401	401	398	392
35	408	410	408	402
40	412	411	414	412
45	412	413	415	413
50	414	413	415	414

Fuente: Elaboración propia

**Figura 29**

*Conductividad eléctrica del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*



Fuente: Elaboración propia

### *Análisis del SDT del agua tratada*

**Tabla 63.**

*SDT inicial del agua de lluvia*

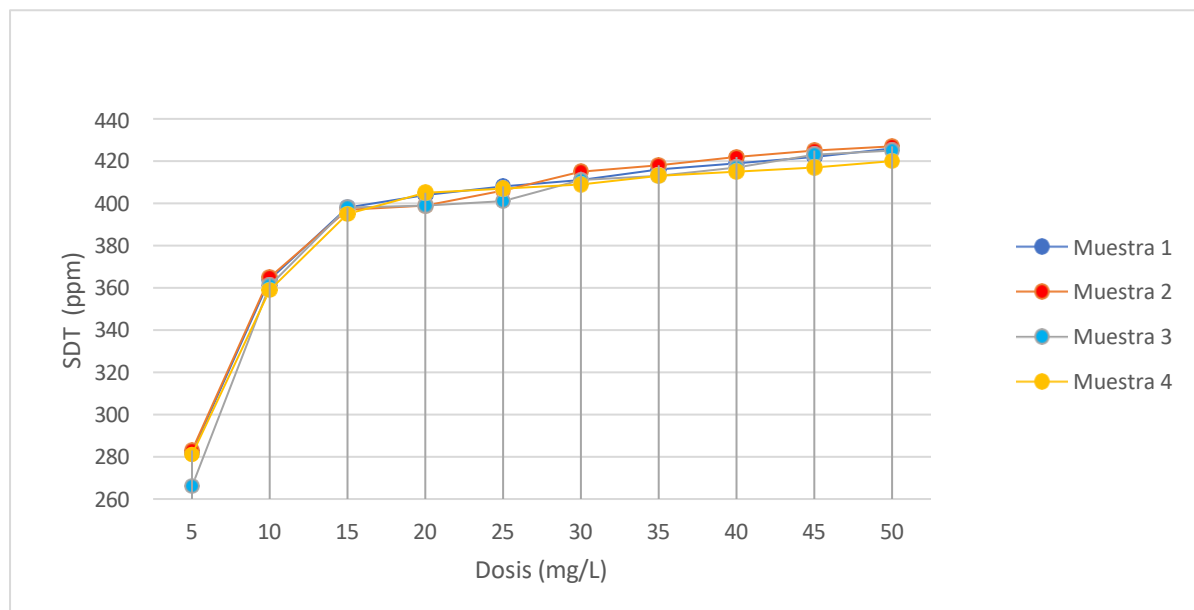
Parámetro	Unidad de medida			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
SDT (ppm)	15	16	13	15

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 64.***SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Dosis (mg/l)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
5	278	282	279	279
10	342	340	338	338
15	364	367	369	366
20	392	392	389	390
25	398	396	394	400
30	406	404	404	402
35	414	416	418	416
40	422	428	429	422
45	431	436	440	432
50	440	442	444	442

Fuente: Elaboración propia

**Figura 30***SDT del Agua a Diferentes Dosis de MOSAD*

Fuente: Elaboración propia