



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria- Celendín



TESIS

“EFICIENCIA DE LA DOSIS DE ALMIDÓN DE *TRITICUM AESTIVUM* (TRIGO) EN LA
REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR DEL AGUA DEL MANANTIAL LA QUINTILLA,
SUCRE, CELENDÍN, 2022”

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

Presentado por el Bachiller:

ZEGARRA VILLANUEVA ROBERT ANTONY

Asesor

DR. ING. MEDINA CHÁVEZ, AGUSTÍN EMERSON

CELENDÍN-PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: ROBERT ANTONY ZEGARRA VILLANUEVA
DNI: 72879164
Escuela Profesional: INGENIERÍA SANITARIA
2. Asesor: Dr. Agustín Emerson Medina Chávez
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EFICIENCIA DE LA DOSIS DE ALMIDÓN DE TRITICUM AESTIVUM (TRIGO) EN LA REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR DEL AGUA DEL MANANTIAL LA QUINTILLA, SUCRE, CELENDÍN, 2022
6. Fecha de evaluación: 29 de febrero 2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 22%
9. Código Documento: oid:3117:336121710
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11 de marzo 2024



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos
Agustín Emerson Medina Chávez

DNI: 27040564



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258601 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 11/03/2024 19:08:03-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, por fortalecer mi camino, demostrarme su amor y protección para alcanzar mis metas.

A mis padres Angélica Obertila Villanueva Gallardo y Yonel Zegarra Domínguez, por formarme con valores, darme las fuerzas y aliento para formarme como un profesional en servicio de la comunidad.

A mis queridos hermanos(a), Cecilia, Soledad, Marlín y Estiven, por brindarme su apoyo incondicional para salir adelante.

Al Dr. Ing. Medina Chávez, Agustín Emerson por su tiempo dedicado como asesor y aporte constructivo e instructivo en la presente investigación.

A todos los amigos que generosamente me apoyaron en las diferentes etapas de la ejecución del presente trabajo.

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a mis padres y hermanos los que siempre estuvieron presente para apoyarme y brindarme su amor incondicional durante todo mi proceso formativo.

A los docentes que me brindaron los conocimientos necesarios para ser profesional. A mis queridos amigos que de una u otra forma me ayudaron a progresar y lograr el objetivo de vida.

ÍNDICE

RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.1.1. Contextualización.	1
1.1.2. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Hipótesis.	2
1.4. Justificación de la Investigación	2
1.4.1. Justificación científica.....	2
1.4.2. Justificación técnica-practica	2
1.4.3. Justificación institucional y personal	3
1.5. Alcances o Delimitación de la Investigación.....	3
1.6. Limitaciones.....	4
1.7. Objetivos.....	4
1.7.1. Objetivo general.....	4
1.7.2. Objetivos específicos	4
CAPITULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes Teóricos.	5
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2. Antecedentes nacionales.	7
2.1.3. Antecedentes locales.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	8
2.2.1. El agua	8

2.2.2.	Composición y estructura del agua.....	8
2.2.3.	Calidad del agua cruda.....	9
2.2.4.	Características del agua.....	10
2.2.5.	Calidad del agua potable.....	14
2.2.6.	Proceso de tratamiento para la clarificación del agua.....	17
2.2.7.	Proceso de Coagulación-floculación.....	17
2.2.8.	Proceso de Coagulación.....	17
2.2.9.	Proceso Floculación.....	28
2.2.10.	Remoción de turbiedad y color del agua.....	31
2.2.11.	Sedimentación de los floculos.....	32
2.2.12.	Coagulantes.....	32
2.2.13.	Polímeros (Coagulantes y floculantes).....	33
2.2.14.	Polímeros sintéticos.....	33
2.2.15.	Polímeros naturales.....	34
2.2.16.	Almidón como agente de coagulación.....	35
2.2.17.	Triticum (trigo).....	37
2.2.18.	Composición del trigo.....	38
2.2.19.	Test de jarras.....	39
2.2.20.	Ensayo para determinar la eficiencia.....	41
2.3.	Definición de Términos Básicos.....	42
CAPITULO III.....		45
3.	MATERIALES Y METODOS.....	45
3.1.	Tipo y Nivel de Investigación.....	45
3.2.	Diseño de la Investigación.....	45
3.2.1.	Diseño pre-experimental.....	45
3.3.	Método de Investigación.....	45
3.3.1.	Proceso de extracción de almidón de trigo.....	45

3.3.2.	Toma de muestras de agua.....	50
3.3.3.	Ensayo de jarras.....	52
3.3.4.	Representación esquemática del proceso seguido en la investigación.....	60
3.4.	Método de Análisis de Datos.....	60
3.4.1.	Prueba T-student para muestras relacionadas.....	61
3.4.2.	Nivel de significancia alfa (α).....	62
3.4.3.	Criterios para determinar la normalidad.....	62
3.4.4.	Elección estadística.....	62
3.5.	Cobertura del Estudio.....	62
3.5.1.	Población.....	62
3.5.2.	Muestra.....	62
3.5.3.	Unidas de análisis.....	63
3.5.4.	Ámbito geográfico.....	63
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	69
3.7.	Procesamiento y Presentación de Datos.....	70
CAPÍTULO IV.....		71
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.1.	Resultados de la Obtención del Almidón de Trigo.....	71
4.2.	Resultados de los Ensayos de Jarras.....	72
4.2.1.	Primera prueba.....	72
4.2.2.	Segunda prueba.....	78
4.2.3.	Tercera prueba.....	84
4.2.4.	Cuarta prueba.....	90
4.2.5.	Quinta prueba.....	96
4.3.	Resultados Fisicoquímicos del Agua del Manantial la Quintilla.....	102
4.4.	Resultados de la Investigación.....	103
4.4.1.	Eficiencia del almidón de trigo en remoción de turbiedad.....	103

4.4.2. Eficiencia del almidón de trigo en remoción de color.	106
4.5. Análisis Estadístico.....	109
4.6. Discusión de Resultados.	113
CAPITULO V.....	119
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
5.1. Conclusiones.	119
5.2. Recomendaciones.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
ANEXOS	127

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Estructura de la Molécula de Agua</i>	9
Figura 2 <i>Modelo esquemático del proceso de coagulación</i>	19
Figura 3 <i>Coagulación</i>	20
Figura 4 <i>Fuerzas de Atracción y Repulsión</i>	21
Figura 5 <i>Doble Capa de Una Partícula coloidal</i>	22
Figura 6 <i>Reestabilización de Partículas</i>	23
Figura 7 <i>Atrapamiento de las Partículas en un Floc.</i>	24
Figura 8 <i>Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión</i>	25
Figura 9 <i>Coagulación por adsorción</i>	27
Figura 10 <i>Coagulación de Barrido o Arrastre de Partículas</i>	28
Figura 11 <i>Floculación</i>	29
Figura 12 <i>Remoción de Turbiedad</i>	31
Figura 13 <i>Estructuras de la Amilosa y la Amilopectina</i>	36
Figura 14 <i>Estructural del Grano de Trigo en Sección Longitudinal y Transversal</i>	39
Figura 15 <i>Equipo de Prueba de Jarras</i>	41
Figura 16 <i>Gráfico de Eficiencias de la Dosis de Coagulante</i>	42
Figura 17 <i>Trigo Harinero, Dispuesto en Kilos en el Mercado de Abastos de Celendín</i>	46
Figura 18 <i>Extracción de Harina de Trigo</i>	47
Figura 19 <i>Pesado y Disolución del Harina con Agua.</i>	47
Figura 20 <i>Filtrado por la malla N° 100</i>	48

Figura 21 Filtrado por la Malla N° 200	48
Figura 22 Refrigeración y Sedimentación del Almidón de Trigo.....	49
Figura 23 Secado y Pulverizado del Almidón de Trigo	49
Figura 24 Almacenamiento del Almidón de Trigo	50
Figura 25 Toma de Muestra Para Análisis Fisicoquímico	51
Figura 26 Toma de Muestras para Prueba de Jarras	52
Figura 27 Abaco: Relación de Gradiente de Velocidad con RPM.....	59
Figura 28 Ubicación Geográfica del Punto de Muestreo	63
Figura 29 Mapa de Ubicación del Distrito de Sucre.	65
Figura 30 Vista de la Zona de Captación y Pre-sedimentador.	66
Figura 31 Curva de la Precipitación Promedio Mensual del Distrito de Sucre, 2022.	67
Figura 32 Curva de la Temperatura Media Mensual del Distrito de Sucre, 2022.	68
Figura 33 Clima del Distrito de Sucre.	69
Figura 34 Peso del Almidón de Trigo Pulverizado.	71
Figura 35 Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (1).....	73
Figura 36 Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(1)	74
Figura 37 PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (1).....	75
Figura 38 Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (1)	76
Figura 39 Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (1)	77
Figura 40 Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (1)	78
Figura 41 Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (2).....	79
Figura 42 Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(2)	80
Figura 43 PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (2).....	81
Figura 44 Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (2)	82
Figura 45 Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (2)	83
Figura 46 Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (2)	84
Figura 47 Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (3).....	85
Figura 48 Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(3)	86

Figura 49 <i>PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (3)</i>	87
Figura 50 <i>Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (3)</i>	88
Figura 51 <i>Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (3)</i>	89
Figura 52 <i>Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (3)</i>	90
Figura 53 <i>Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (4)</i>	91
Figura 54 <i>Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(4)</i>	92
Figura 55 <i>PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (4)</i>	93
Figura 56 <i>Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (4)</i>	94
Figura 57 <i>Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (4)</i>	95
Figura 58 <i>Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (4)</i>	96
Figura 59 <i>Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (5)</i>	97
Figura 60 <i>Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(5)</i>	98
Figura 61 <i>PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (5)</i>	99
Figura 62 <i>Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (5)</i>	100
Figura 63 <i>Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (5)</i>	101
Figura 64 <i>Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (5)</i>	102
Figura 65 <i>Eficiencias de las Dosis Usadas en la Remoción de Turbiedad</i>	103
Figura 66 <i>Eficiencias de las Contracciones Usadas en la Remoción de Turbiedad</i>	105
Figura 67 <i>Eficiencias de las Dosis Usadas en la Remoción de Color A</i>	106
Figura 68 <i>Eficiencias de las Contracciones Usadas en la Remoción de Color A</i>	108
Figura 69 <i>Pesada de 3 kg de Harina de Trigo</i>	127
Figura 70 <i>Refrigeración y Reposo del Almidón de Trigo</i>	128
Figura 71 <i>Almidón de Trigo Obtenido</i>	128
Figura 72 <i>Peso de 5 Gramos de Almidón de Trigo</i>	129
Figura 73 <i>Gelatinización del Almidón de Trigo al 5 %</i>	129
Figura 74 <i>Equipo de Prueba de Jarras</i>	130
Figura 75 <i>Homogenización de la Muestra de Agua</i>	130
Figura 76 <i>Medida en el Espectrofotómetro del Color Verdadero</i>	131
Figura 77 <i>Medida del Color aparente en el Espectrofotómetro</i>	131
Figura 78 <i>Medida de Ph del Agua del Manantial la Quintilla</i>	132

Figura 79 <i>Concentraciones del Almidón de Trigo</i>	132
Figura 80 <i>Colocación de Jeringas con Coagulante en Frente de Cada Jarra</i>	133
Figura 81 <i>Laboratorio de la Calidad de la EPS-SEDACAJ</i>	133
Figura 82 <i>Medición de Turbiedad en Turbidímetro a la Entrada</i>	134
Figura 83 <i>Medición de Turbiedad en Turbidímetro a la Salida</i>	134

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Indicadores de la Calidad del Agua</i>	15
Tabla 2 <i>Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos.</i>	15
Tabla 3 <i>Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica.</i>	16
Tabla 4 <i>Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos Inorgánicos y Orgánicos.</i>	16
Tabla 5 <i>Polímeros Naturales que Tienen Propiedades Coagulantes o Floculantes.</i>	35
Tabla 6 <i>Porcentaje de Almidón, Proteínas, Fibras y Ceniza de Algunas Fuentes de Almidón.</i>	35
Tabla 7 <i>Clasificación Taxonómica del Trigo.</i>	37
Tabla 8 <i>Materiales, Equipos y Reactivos para la Extracción de Almidón.</i>	46
Tabla 9 <i>Materiales, Equipos y Reactivos Para el Ensayo de Jarras</i>	53
Tabla 10 <i>Elección de la Prueba Estadística.</i>	61
Tabla 11 <i>Precipitación Promedio Mensual del Distrito de Sucre, 2022.</i>	67
Tabla 12 <i>Temperatura Media Mensual del Distrito de Sucre, 2022.</i>	68
Tabla 13 <i>Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (1).</i>	72
Tabla 14 <i>Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (1)</i>	72
Tabla 15 <i>Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (1)</i>	74
Tabla 16 <i>PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (1)</i>	75
Tabla 17 <i>Parámetros de Floculación (1)</i>	76
Tabla 18 <i>Tiempos de Floculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (1)</i>	77
Tabla 19 <i>Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (2)</i>	78
Tabla 20 <i>Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (2)</i>	79
Tabla 21 <i>Concentración del Coagulante y su eficiencia en el Ensayo (2)</i>	80
Tabla 22 <i>PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (2)</i>	81
Tabla 23 <i>Parámetros de Floculación (2)</i>	82
Tabla 24 <i>Tiempos de Floculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (2)</i>	83
Tabla 25 <i>Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (3)</i>	84
Tabla 26 <i>Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (3)</i>	85

Tabla 27 <i>Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (3)</i>	86
Tabla 28 <i>PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (3)</i>	87
Tabla 29 <i>Parámetros de Flocculación (3)</i>	88
Tabla 30 <i>Tiempos de Flocculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (3)</i>	89
Tabla 31 <i>Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (4)</i>	90
Tabla 32 <i>Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (4)</i>	91
Tabla 33 <i>Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (4)</i>	92
Tabla 34 <i>PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (4)</i>	93
Tabla 35 <i>Parámetros de Flocculación (4)</i>	94
Tabla 36 <i>Tiempos de Flocculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (4)</i>	95
Tabla 37 <i>Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (5)</i>	96
Tabla 38 <i>Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (5)</i>	97
Tabla 39 <i>Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (5)</i>	98
Tabla 40 <i>PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (5)</i>	99
Tabla 41 <i>Parámetros de Flocculación (5)</i>	100
Tabla 42 <i>Tiempos de Flocculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (5)</i>	101
Tabla 43 <i>Dosis Usadas y su Eficiencias en la Remoción de Turbiedad</i>	103
Tabla 44 <i>Concentraciones Usadas y su Eficiencia en la Remoción de Turbiedad</i>	104
Tabla 45 <i>Dosis Usadas y su Eficiencias en la Remoción de Color Aparente</i>	106
Tabla 46 <i>Concentraciones Usadas y su Eficiencia en la Remoción de Color A</i>	107
Tabla 47 <i>Porcentaje de Remoción de Color Verdadero en Cada Muestreo</i>	109
Tabla 48 <i>Resultados de Turbiedad de Entrada y Salida</i>	110
Tabla 49 <i>Prueba T para Medias de dos Muestras Emparejadas para la Turbiedad</i>	110
Tabla 50 <i>Resultados de Color Aparente de Entrada y Salida</i>	111
Tabla 51 <i>Prueba T para Medias de dos Muestras Emparejadas para el Color Aparente</i>	112

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo determinar la eficiencia de la dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (trigo) en la remoción de turbiedad y color del agua del manantial La Quintilla utilizando dosis de 15, 20, 25, 30, 40 y 50 mg/l de almidón de trigo a concentraciones de 0.5 %, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3% respectivamente, utilizando el equipo de prueba de jarras siguiendo los procesos que se detallan en la parte metodológica y para el análisis estadístico de datos se utilizó la T-Student para muestras relacionadas. Para ello se han realizado cinco muestreos en la entrada al pre- sedimentador, de la planta de tratamiento convencional del distrito de Sucre, donde las turbiedades analizadas varían entre 35 y 50 UNT. Los resultados obtenidos en la investigación, demostraron que el almidón de trigo tiene una buena propiedad coagulante y puede ser utilizado en plantas de tratamiento convencional. El análisis de datos arrojó que la máxima remoción de turbiedad y color aparente fue de 74.89% y 53.77% respectivamente, con una dosis de 50 mg/l a una concentración del 2 % o de 20000 ppm en todos los muestreos; además cabe mencionar que los parámetros óptimos de floculación según la investigación son: tiempo de floculación de 20 a 25 minutos con un gradiente de velocidad de 60 S-1 y 40 S-1.

Palabras clave: almidón de trigo, dosis, concentración, prueba de jarras, turbiedad, color, coagulación, floculación.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the efficiency of the dose of *Triticum Aestivum* (wheat) starch in the removal of turbidity and color from the water of the La Quintilla spring using doses of 15, 20, 25, 30, 40 and 50 mg/l of wheat starch at concentrations of 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% and 3% respectively, using the jar test equipment following the processes detailed in the methodological part and for the statistical analysis of data The T-Student was used for related samples. For this, five samples have been carried out at the entrance to the pre-sedimenter, of the conventional treatment plant in the district of Sucre, where the turbidities analyzed vary between 35 and 50 UNT. The results obtained in the research demonstrated that wheat starch has a good coagulant property and can be used in conventional treatment plants. The data analysis showed that the maximum removal of turbidity and apparent color was 74.89% and 53.77% respectively, with a dose of 50 mg/l at a concentration of 2% or 20,000 ppm in all samplings; It is also worth mentioning that the optimal flocculation parameters according to the research are: flocculation time of 20 to 25 minutes with a speed gradient of 60 S-1 and 40 S-1.

Keywords: wheat starch, dose, concentration, jar test, turbidity, color, coagulation, flocculation.

CAPITULO I.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema.

1.1.1. Contextualización.

En el presente trabajo de investigación estudia el comportamiento del almidón de trigo como agente de coagulación- floculación para la remoción de turbiedad y color mediante el equipo de prueba de jarras, se usara agua del manantial la Quintilla, el cual está ubicado y abastece a la zona urbana del distrito de Sucre, los pobladores y la JASS mencionan que este manantial en época de invierno presenta un aumento de los sólidos disueltos en el agua, aumentado la turbiedad y color de esta, siendo necesario la aplicación de un agente de coagulación que ayude a la remoción de este parámetro, ya que el DS. N° 031-2010-SA establece que un agua apta para el consumo humano no debe sobrepasar los límites máximos permisibles. En tal sentido en este trabajo se busca evaluar si el almidón de trigo remueve de forma eficiente la turbiedad y color del agua en estudio, además de determinar si es una alternativa para la remoción de los parámetros mencionados en el agua del manantial la “Quintilla” que abastece al distrito de Sucre.

1.1.2. Descripción del problema

La investigación se generó porque el agua para consumo humano del distrito de Sucre en época de invierno (setiembre-abril), durante los periodos de máximas precipitaciones la población observa que llega a sus hogares un agua con presencia de sedimentos, lo cual indica que la turbiedad no ha sido removida a los niveles que indica el ministerio de salud para ser consumida, esta es la preocupación de encontrar una alternativa que ayude a controlar estos sedimentos y mejora la calidad de vida de la población abastecida. Se conoce que en el mercado existen diferentes insumos químicos como el sulfato de aluminio que ayudan a controlar o remover la

turbiedad, pero no es viable principalmente por elevado costo de adquisición y por la necesidad de contar con personal calificado para la adición de este producto, con lo que la JASS no cuenta.

1.2. Formulación del Problema

¿El manantial la Quintilla presenta turbiedad y color de agua mayores a las permisibles, Sucre - Celendín?

1.3. Hipótesis.

Las dosis de almidón de trigo, aplicadas al agua del manantial la Quintilla Sucre, Celendín contribuye de manera eficiente en la remoción de turbiedad y color del agua.

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Justificación científica

Investigaciones sobre agentes naturales utilizados en el tratamiento del agua, específicamente en la remoción de turbiedad y color aparente, han demostrado que los almidones poseen una buena capacidad para reducir estos parámetros en aguas turbias, estos estudios son poco desarrollados a nivel local, por lo cual amerita realizar este tipo de investigación usando agua del manantial la Quintilla y como agente de coagulación floculación almidón de trigo, pudiendo determinar la capacidad de este agente en remoción de la turbiedad y color aparente del agua estudiada.

1.4.2. Justificación técnica-práctica

Los elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de ser eliminados, además que se requiera mayor cantidad de cloro en la etapa de desinfección, es por ello que el MINSA establece los LMP para aguas destinadas al consumo humano, donde la turbiedad debe ser menor a las 5 unidades nefelométricas de turbiedad, es por ello que es necesario estudiar el

almidón de trigo en la remoción de turbiedad y color aparente del agua del manantial la “Quintilla” y determinar si reduce estos parámetros a los límites máximos permisibles, evitando el malestar de la población abastecida.

1.4.3. Justificación institucional y personal

La Universidad Nacional de Cajamarca forma profesionales comprometidos de brindar una agua de calidad y con el medio ambiente, es por ello que se realizó esta investigación como un aporte a región Cajamarca, en los procesos de tratamiento del agua, específicamente en la remoción de turbiedad y color, evitando que el agua destinada para el consumo humano llegue a los hogares contaminada. Esta investigación me permitirá titularme para seguir contribuyendo con el desarrollo de nuestra región.

1.5. Alcances o Delimitación de la Investigación.

En la presente investigación se estudió la capacidad del almidón de trigo para remover la turbiedad y color usando agua del manantial la Quintilla, la cual alcanza turbiedades elevadas en invierno (febrero-marzo), época en la que se realizó el estudio. Para ello se medirá la turbiedad y color antes y después del realizar el test de jarra y con ello establecer la dosis y concentración más eficiente de este coagulante orgánico para la remoción de estos parámetros.

La dosis y concentración más eficiente, se refiere al mejor resultado que se obtenga al medir la turbiedad y color aparente del agua al aplicar el almidón de trigo en dosis de 15, 20, 25, 30, 40 y 50 mg/l a concentraciones de 0.5 %, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3%. Para ello se hará 5 tomas de muestras en la entrada al pre-sedimentador de la PTAP del distrito de Sucre, cada una de ellas en diferentes semanas y por cada una se realizará la prueba de jarras utilizando el equipo de Test de jarras el cual cuenta con 6 jarras de 2000 ml cada una, en donde se colocaron las dosis y concentración de coagulante natural estipuladas en la investigación.

1.6. Limitaciones.

Los datos obtenidos del presente estudio son válidos para la fuente en estudio y fechas en las que se realizó la toma de muestras y ensayos, por las siguientes limitaciones:

- No contar con data de turbiedad y color del agua del manantial la “Quintilla”.
- La representatividad de las muestras estudiadas y confiabilidad de los resultados.
- No contar con laboratorio ni con equipo de prueba de jarras para realizar el test de jarras en el distrito de Sucre.
- Los análisis de las características físicas y químicas del agua se ha limitado al Ph, Color; turbiedad y solidos totales disueltos.

1.7. Objetivos.

1.7.1. *Objetivo general.*

Determinar la eficiencia de la dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (Trigo) en la remoción de turbiedad y color del agua del manantial la Quintilla, Sucre, Celendín, 2022.

1.7.2. *Objetivos específicos*

- Determinar las características fisicoquímicas del agua del manantial la Quintilla.
- Medir la remoción de turbiedad y color aparente del agua del manantial para las dosis de: 15, 20, 25, 30, 40 y 50 mg/l de almidón de trigo y para las concentraciones de 0.5 %, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3%.
- Determinar la dosis y concentración de almidón de trigo más eficiente en la remoción de turbiedad y color aparente del agua.
- Determinar los parámetros de floculación para los gradientes de velocidad de 20 s^{-1} , 40 s^{-1} , 60 s^{-1} , 80 s^{-1} .

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes Teóricos.

2.1.1. *Antecedentes internacionales.*

En la tesis “Evaluación del almidón de maíz y trigo como coagulante - floculante para la remoción de turbiedad y color aparente en acueductos rurales” se demostró que el almidón de maíz como coagulante natural remueve la turbiedad en un 89,5 % y el almidón de trigo en un 85 %. En cuanto a la remoción del color aparente encontró que el coagulante de maíz y trigo reducen en 90,2 % y 85,1% respectivamente. Analizó al sulfato de aluminio utilizado como agente de coagulación convencional, donde obtuvo una remoción de turbiedad del 99 % y del 98,1% para el color. Según los valores encontrados concluyó que los coagulantes naturales estudiados pueden ser empleados en tratamiento de aguas con características fisicoquímicas elevada (Velandia, J. 2021).

En la tesis “Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales” de la universidad de Guayaquil-Ecuador, se investigó la efectividad de la semilla de moringa y el almidón de la yuca (*Manihot esculneta*), en el tratamiento de aguas superficiales del río “Vinces”, donde al añadir distintas dosis de las soluciones preparadas a las muestras durante el test de jarras, demostró que con una dosis de 17,5 mg/l del compuesto obtenido de la moringa junto a 0.5 mg/l de almidón de yuca se logró una turbiedad final de 1,60 NTU y 6 Pt/Cu de color; la materia orgánica se redujo en 61, 25%, se eliminó en 100% las coliformes fecales y el PH final obtenido fue básico, probando que estos compuestos orgánicos pueden reemplazar los compuestos químicos normalmente utilizados (Cuadro, S. y Rodas, J. 2018).

En la investigación titulada: “Polvo de la Semilla Cassia Fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda”, de la universidad de Cartagena. Se estudió el polvo de la semilla de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el agua del canal del Dique, determinando su dosis óptima mediante el Test de Jarras, además de los parámetros de turbidez, color, alcalinidad y dureza; obteniendo como resultado que la dosis optima del coagulante analizado se encuentra entre 15-25 mg/L, la turbidez y color es de 6 NTU y 25 UC respectivamente y los resultados de PH y alcalinidad no presentaron cambios significativos. Estos valores encontrados demuestran el positivo uso de este agente natural como coagulante primario en tratamiento de aguas crudas (Guzmán et al., 2015).

En el artículo “Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales” comparó coagulantes compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sulfato de aluminio, con la finalidad de reducir el uso de este producto en las plantas potabilizadoras. En su 1° tratamiento a través de la Prueba de Jarra, determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio de 30 mg/l, para una turbiedad de 70 NTU, color de 85 CU y pH de 6.8. Con esta dosis, preparó seis mezclas con distintas concentraciones de almidón y sulfato de aluminio y en cada una midió la turbiedad, el color y pH, donde los resultados de las pruebas, indican que la reducción del 94% del color se obtuvo con el tratamiento 2 con una dosis de 2 mg/L de almidón de yuca, más 28 mg/L de sulfato de aluminio en las pruebas 3 y 4 se logró una remoción de color estadísticamente iguales al tratamiento 1 de acuerdo a la prueba de Dunnett. Estas pruebas de dosis: 4 mg/L y 26mg/l - 6 mg/l y 24 mg/l de almidón de yuca y sulfato de aluminio respectivamente, lograron remover el 98.7 % y 97.9 % de la turbiedad; en cuanto al Ph no se mostraron cambios significativos (Solís et al., 2012).

2.1.2. Antecedentes nacionales.

En la tesis “Determinación de la velocidad de sedimentación utilizando el almidón de *Manihot esculenta* (yuca), para la clarificación de las aguas superficiales del río macashca – 2016”, los resultados muestran que el Almidón de yuca (*Manihot esculenta*), reduce la turbiedad del agua del río “maxashca” a valores menores de 5 NTU establecidos en el DS N° 031-2010-SA, con una Velocidad de sedimentación de 0.833 cm/s. De acuerdo a las pruebas realizadas concluye, que el coagulante natural ayuda en la determinación de la velocidad de sedimentación de los flóculos aproximándose a 1 cm/s, con ello obtuvo la reducción de la turbiedad en elevados porcentajes con una dosis de 21 mg/l de almidón de yuca a 0.8% de concentración y PH básico de 7.5 (Pajuelo, H. 2018).

En la tesis “Evaluación de la dosis y concentración del almidón de *zea mays* (maíz) en el proceso de floculación, utilizando agua del río casca, 2016” se demostró, que el almidón de *Zea Mays* (Maíz) posee buena propiedad coagulante, donde la reducción máxima de la turbiedad fue de 77.45% pero no logró cambios significativos en cuanto al color. La dosis óptima de almidón de maíz fue de 25 mg/l y 10000 ppm respectivamente en la mayor parte de las muestras. Al realizar el proceso de coagulación-floculación mediante el Test de Jarras, se obtuvo los siguientes parámetros de floculación: Tiempo de floculación de 25 minutos y gradiente de velocidad 40 S-1 en la mayor parte de las pruebas realizadas, excepto en el prueba N° 02 que el tiempo de floculación fue de 30 min y la gradiente de velocidad de 40 S-1 (Palacios, C. 2018).

2.1.3. Antecedentes locales.

En la tesis “Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica* (l) miller) y de San Pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & g.d. rowley) en la clarificación del agua”, prueba la validez de mucílago de tuna y de San Pedro como clarificadores

del aguas turbias; encontró que la remoción de turbiedad se encuentra entre 62 % a 90 % para la tuna y de 60 % a 78 % para el San Pedro. En cuanto a la conductividad eléctrica del agua, comprobó que se incrementa de 170 a 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de 186 a 962 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la tuna y el San Pedro respectivamente. El PH del agua, con el mucilago de tuna disminuye de 7.6 a 6.7; y para el San Pedro de 7.8 a 6.1. En el resultado final concluye que, la concentración más eficiente es de 1.25 g/L para cada especie, siendo el más efectivo el mucilago de tuna, demostrando que este puede ser utilizado en tratamiento de aguas con elevada turbiedad (Villanueva, A. 2019).

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. *El agua*

Es el elemento principal de todo ser vivo, donde el organismo humano está constituido por agua principalmente, así como el mundo en el que vivimos. En la naturaleza ocurren una serie de procesos o fenómenos en los cuales el agua tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos; esta influencia producida es a consecuencia de ser constituyente de los compuestos orgánicos e inorgánicos (CEPIS, 2004).

La organización mencionada líneas arriba, señala que es muy abundante en la naturaleza y es considerado como el disolvente universal, debido a que la mayoría de sustancias son solubles en ella, ya sea que se encuentre en estado sólido, líquido o gaseoso; forman con estos iones, complejos que pueden ser solubles e insolubles, además de partículas de diferente tamaño y peso que se encuentran dispersas en ella.

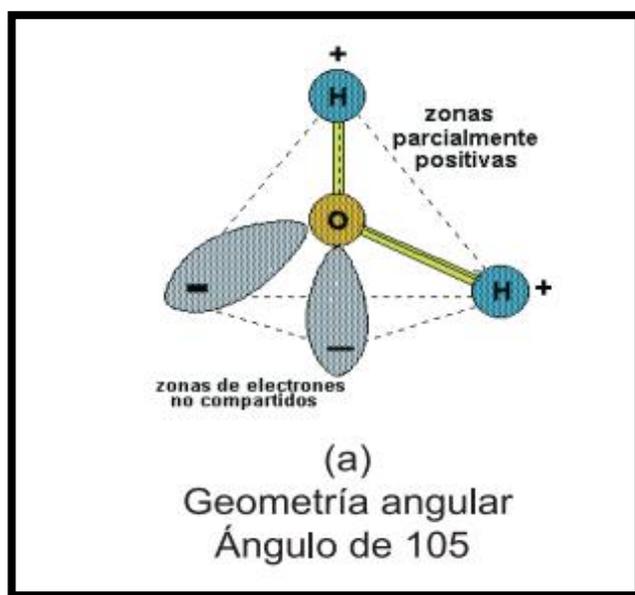
2.2.2. *Composición y estructura del agua.*

El agua está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, unidos mediante enlaces covalentes los cuales le dan la característica estable, su densidad electrónica presenta una distribución irregular, ya que el O2 es un elemento muy electronegativo así la más elevada carga

negativa se ubica al rededor del átomo de oxígeno debido a que atrae los electrones de ambos enlaces covalentes y la carga positiva cerca de los hidrógenos. Presenta una geometría angular ya que entre átomos de hidrógeno forma un ángulo de 105 grados (Carvajal, A. y Gonzáles, M. 2012). Así como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Estructura de la Molécula de Agua



Fuente: Propiedades y funciones biológicas del agua, (Carvajal, A. y Gonzáles, M. 2012).

2.2.3. Calidad del agua cruda.

La calidad del agua cruda, varía dependiendo de su origen y las condiciones del medio en que se encuentra; es afectada por fenómenos naturales y fenómenos artificiales a consecuencia del crecimiento de la población. Las aguas superficiales se ven muy afectadas por los fenómenos antes mencionados; por el contacto con la atmosfera, las aguas de lluvia pueden contaminarse en la atmósfera debido a la actividad industrial; por lo que, la calidad del agua es muy variable y necesita ser caracterizada para establecer los parámetros que deben ser tratados (Pérez et al., 1992).

Las aguas naturales, escasamente son de buena calidad para el consumo humano y casi siempre deben ser tratadas. La calidad natural del agua es el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado habitual en los ríos, lagos, manantiales y las aguas del subsuelo; naturalmente no se encuentra en estado puro y siempre contiene sustancias que provienen de diversas fuentes como: La precipitación, su propia acción erosiva, el viento y de su contacto con la atmosfera. En las aguas que no han recibido vertidos artificiales se encuentra sólidos y coloides en suspensión que afectan la transparencia (Díaz, E. 2014).

2.2.4. Características del agua.

A continuación se detallan las principales características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua.

2.2.4.1. Características físicas.

Se denominan características físicas porque se pueden detectar con los sentidos (vista, olfato, etc.), esto implica que, tienen incidencia directa sobre las condiciones físicas y de aceptabilidad del agua. Las características más importantes son: La turbiedad, sólidos solubles e insolubles; color; olor - sabor y temperatura (CEPIS, 2004).

✓ Turbiedad

La misma organización menciona que la turbiedad del agua se debe a partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, etc), las cuales le dan al líquido la capacidad de diseminar la luz. Se puede afirmar que la turbiedad es la forma de medir las partículas coloidales y suspendidas en el agua.

Esta se mide en UNT: Unidades Nefelométricas de Turbidez, siendo el equipo más usado para su medida el nefelómetro o turbidímetro, el cual mide la intensidad de la luz dispersada a 90

grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. Según la organización mundial de la salud (OMS) la turbidez no debe pasar de las 5 NTU para el consumo humano (González, C. 2011).

✓ **Sólidos disueltos totales.**

Se llama así a los residuos que se obtienen como materia sobrante luego de evaporar y secar una muestra de agua a $180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura. Pueden encontrarse como sólidos suspendidos o disueltos (CEPIS, 2004).

Sólidos disueltos. “Más conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra luego de haber sido filtrada” (CEPIS, 2004).

Sólidos suspendidos. “Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio” (CEPIS, 2004).

✓ **Color del agua**

Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, etc. Además puede estar ligada a la turbiedad del agua. El color natural del agua puede originarse por: la descomposición de la materia; la materia orgánica del suelo; la presencia de hierro, manganeso y otros (CEPIS, 2004).

El color se mide en unidades de color ó unidades platino cobalto (UPC) y por lo general es causado por la presencia de material colorante. Hay dos tipos de color, “el verdadero que es el que está presente en el agua después de remover la materia suspendida y el color aparente que es el

color verdadero más cualquier otro color que produzcan las sustancias en suspensión” (Villanueva, M. y Avila, J. 2019).

✓ **Temperatura del agua.**

Este parámetro influye en las actividades biológicas dentro del agua, en la absorción de oxígeno, el precipitado de compuestos, la desinfección y además de los procesos de mezcla, floculación y sedimentación. Se considera como uno de los parámetros físicos más importantes de agua (CEPIS, 2004).

2.2.4.2. Características químicas.

Los riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua de consumo, se deben principalmente a la capacidad de estos de producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados. Escasos componentes químicos del agua pueden generar problemas de salud a consecuencia de una exposición, salvo en el caso de una contaminación prolongada de la fuente de abastecimiento; en estas situaciones, muchas veces el agua se vuelve imbebible por el gusto, olor o aspecto inaceptables. En el agua se encuentran presente diversos productos químicos; sin embargo, sólo unos pocos suponen un peligro inmediato para la salud (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).

A continuación se detalla las características e importancia de los principales parámetros químicos del agua.

✓ **PH**

Este parámetro es un indicador de la calidad del agua. Un agua acida disuelve en el proceso de conducción los metales empleados como el plomo y el cobre, los cuales, al ser ingeridos, afectan negativamente la salud de las personas. El valor de este parámetro, para un agua potable varía entre

6.5 a 8.5 unidades de PH. En las aguas de consumo humano, los valores extremos generan inflamación de las mucosas y hasta proceso de ulceración de los órganos internos (Pérez, E. 2016).

✓ **Alcalinidad**

“La alcalinidad del agua, conocida como capacidad buffer, se debe a los contenidos de carbonatos y bicarbonatos en solución, los cuales son muy comunes en las aguas subterráneas” (INTAGRI, s.f.). Este parámetro es importantes ya que en altas concentraciones transmite un olor desagradable, además si presenta iones de calcio y magnesio ocasiona taponamiento y obstaculización del flujo en las tuberías. La razón más importante es que este parámetro controla el proceso de coagulación en el tratamiento de agua potable (Bautista, G. 2019).

✓ **Dureza**

Este mismo autor indica que este parámetro es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio y se expresan como carbonato cálcico en mg/l. Esta es una característica muy importante en el agua debido a que los iones de calcio y magnesio hace que formen sales insolubles con los aniones de los jabones, formando lo comúnmente se conoce como espuma.

2.2.4.3. Características biológicas

En el agua natural se puede encontrar una gran cantidad y variedad de microorganismos, los cuales puedes ser patógenos o no. Los patógenos son aquellos microorganismos que causan daños a la salud de los seres vivos y los no patógenos no generan daños. Los virus, bacterias, las algas, los hongos y algunos protozoos presentes en el agua, son los microorganismos que producen enfermedades (Espinoza, M. 2015).

✓ **Coliformes fecales.**

El investigador antes mencionado sostiene que las coliformes son un grupo de especies bacterianas con algunas características bioquímicas semejantes. El término coliforme significa con forma de coli, en referencia a la bacteria *Escherichia coli*, considerada como la principal del grupo. En el control de la calidad del agua para consumo humano, este microorganismo debe estar ausente, su presencia indicaría la contaminación de agua por heces fecales.

2.2.5. *Calidad del agua potable.*

La OMS indica que un agua es potable cuando al consumirla toda una vida no genera daños a la salud, si bien las características del agua varían en función al medio y proceso del cual se originan. Estas propiedades de las aguas se pueden cuantificar y clasificar en función de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales establecen la calidad de la misma y determinan su uso (Caminati, A. y Caqui, R. 2013).

Las aguas naturales pueden llegar a ser potables mediante un proceso de potabilización, el cual permite que, el agua final obtenida cumpla con la norma de calidad establecida para el consumo humano. Estas normas se rigen a análisis toxicológicos, epidemiológicos y estimaciones estéticas (Castrillón, D. y Ángeles, M. 2012).

En la Tabla 1 se muestra los principales parámetros que determinan calidad del agua.

Tabla 1*Indicadores de la Calidad del Agua*

Parámetros	Descripción
Parámetros físicos	Sólido y residuos, turbiedad, color, olor y sabor, y temperatura
Parámetros químicos	Aceites y grasas, conductividad eléctrica, alcalinidad, cloruros, dureza, pH, cloruro, sodio, sulfatos
Parámetros biológicos	Algas, bacterias (coliformes termo tolerantes y coliformes totales), recuento heterotrófico, protozoos, virus y helmintos patógenos.

Fuente: (Caminati, A. y Caqui, R. 2013).

Los parámetros de calidad del agua deben mantenerse dentro de los límites establecidos en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud (MINSA). Estos límites máximos se muestran en la Tabla 2, 3 y 4.

Tabla 2*Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos.*

Parámetros	Unidad de Medida	Límite Máximo Permisible
1. Bacterias coliformes totales	UFC/100mL a 35 °C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100mL a 44,5 °C	0 (*)
3. Bacterias coliformes termo tolerantes o fecales	UFC/100mL a 44,5 °C	0 (*)
4. Bacterias heterotróficas	UFC/mL a 35 °C	500
5. Huevos y larvas de Helminto, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos	N° org/L	0
6. Virus	UFC/mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos , nematodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias
 (*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples =<1.8 / 100 ml

Fuente: Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (Ministerio de Salud, 2011).

Tabla 3*Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica.*

Parámetros	Unidad de Medida	Límite Máximo Permissible
1. Olor	...	Aceptable
2. Sabor	...	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. Ph	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1500
7. Sólidos totales disueltos	mg L ⁻¹	1000
8. Cloruro	mg Cl L ⁻¹	250
9. Sulfato	mg So ₄ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCo ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (Ministerio de Salud, 2011).**Tabla 4***Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos Inorgánicos y Orgánicos.*

Parámetros Inorgánicos	Unidad de Medida	Límite Máximo Permissible
1. Arsénico	mg As L ⁻¹	0,01
2. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
3. Cianuro	mg CN L ⁻¹	0,07
4. Cromo	mg Cr L ⁻¹	0,05
5. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
6. Níquel	mg Ni L ⁻¹	0,02
7. Nitrato	mg NO ₃ L ⁻¹	50
8. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,0 exposición corta 0,2 exposición larga
9. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,01
10. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
Parámetros Orgánicos	Unidad de Medida	Límite Máximo Permissible
1. Aceite y grasas	mg L ⁻¹	0,5
2. Bromato	mg L ⁻¹	0,01

Fuente: Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (Ministerio de Salud, 2011).

2.2.6. Proceso de tratamiento para la clarificación del agua.

“La clarificación consiste en la remoción de la turbidez del agua. Para remover las partículas que ocasionan la turbidez, es preciso modificar algunas de sus características, a través de los procesos de coagulación, floculación y filtración” (Puertas, E. y Torres, C. 2015). La clarificación incluye la coagulación – floculación, proceso mediante el cual las partículas presentes en el agua se aglomeran formando pequeñas masas que tienen un peso específico mayor que el del agua, de esta forma las partículas sedimentan y permiten que el agua alcance las características deseables para el consumo humano (Castrillón, D. y Ángeles, M. 2012).

2.2.7. Proceso de Coagulación-floculación.

El método más efectivo para la remoción de partículas coloidales y suspendidas del agua en su potabilización, es el proceso de coagulación-floculación, llegando a producir entre el 80% y 90% de remoción; también permite reducir la turbiedad del agua así como la remoción parcial del color, bacterias (80% a 90%) y virus (Ojeda, L. 2012).

2.2.8. Proceso de Coagulación.

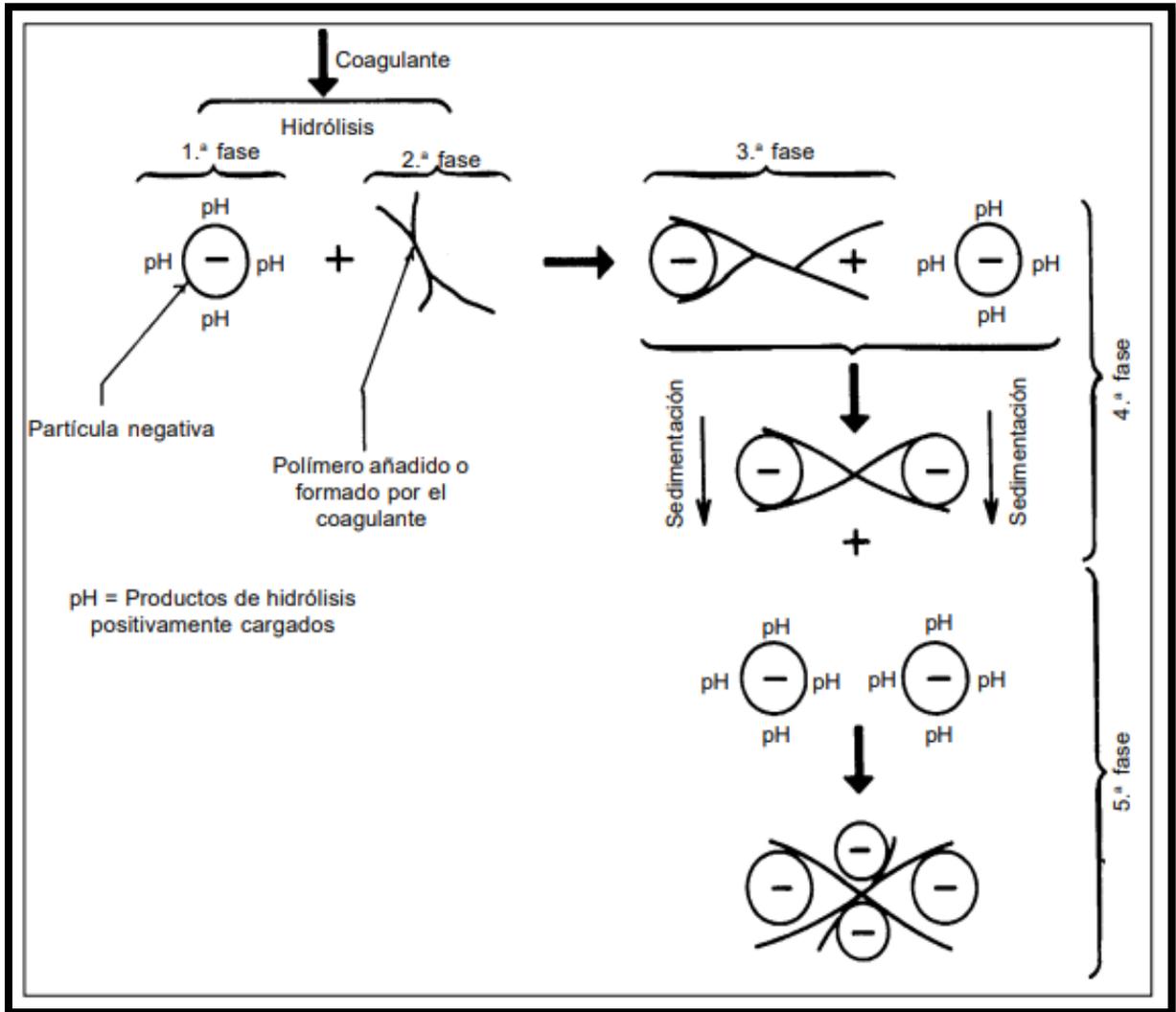
La turbiedad y color de las aguas naturales, están dadas por las partículas presentes en ella, unas de carga eléctrica positiva y otras de carga eléctrica negativa, es por ello que se asegura que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las partículas con la misma carga eléctrica se repelen entre ellas, por esto se mantienen separadas y suspendidas en el agua, en consecuencia dichas partículas no se sedimentan. Las cargas eléctricas de los coloides se neutralizan mediante el proceso de coagulación, donde se anulan las fuerzas electrostáticas repulsivas, esto se logra añadiendo al agua sales de aluminio o hierro (Castrillón, D. y Ángeles, M. 2012).

“En el proceso de coagulación las partículas pequeñas se agruparán formando otras de mayor tamaño y más sólidas a las que se les denomina coágulo” (Puertas, E. y Torres, C. 2015). En el proceso de coagulación se originan varias etapas, así como de muestra en la Figura 2:

1. Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
2. Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
3. Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
4. Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van der Waals.
5. Formación de los flóculos.

Figura 2

Modelo esquemático del proceso de coagulación

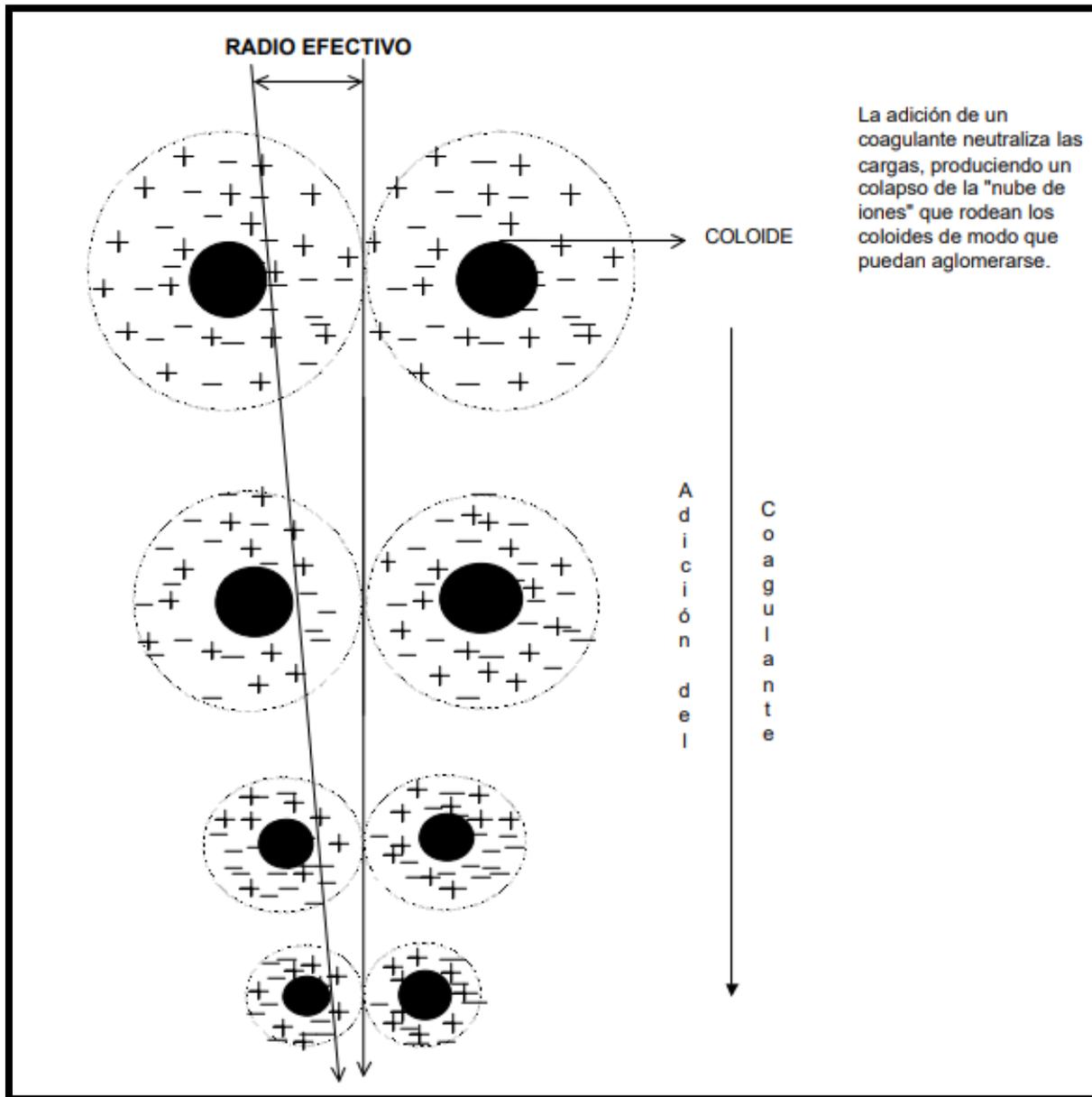


Fuente: Coagulación, (CEPIS, 2004).

En la Figura 3 se muestra como la adicción de coagulante anula las cargas eléctricas de la superficie del coloide para que se aglomeren y formen floculos (Andía, Y. 2000).

Figura 3

Coagulación



Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación, (Andía, Y. 2000).

2.2.8.1. Mecanismos de Coagulación.

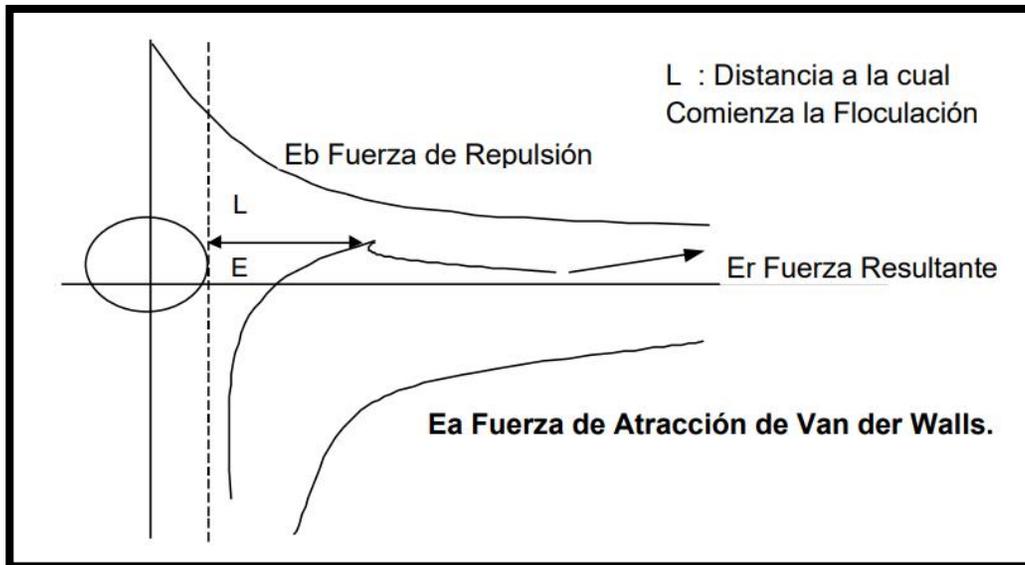
La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

✓ **Compresión de la Doble Capa.**

Se produce cuando dos partículas iguales se acercan, ocasionando fuerzas de repulsión debido a la interacción de sus capas lejanas, la intensidad de repulsión producida depende del espacio que los separa, el aumento de iones de coagulantes con carga opuesta al de las partículas genera que estas rápidamente descendan. Por otro lado las fuerzas de atracción (E_a), entre partículas denominadas fuerzas de Van der Walls, depende de la densidad y los átomos que forman las partículas, estas fuerzas no son alteradas por las propiedades de la solución, algo que si sucede en las fuerzas de repulsión (Andía, Y. 2000), ver la Figura 4.

Figura 4

Fuerzas de Atracción y Repulsión



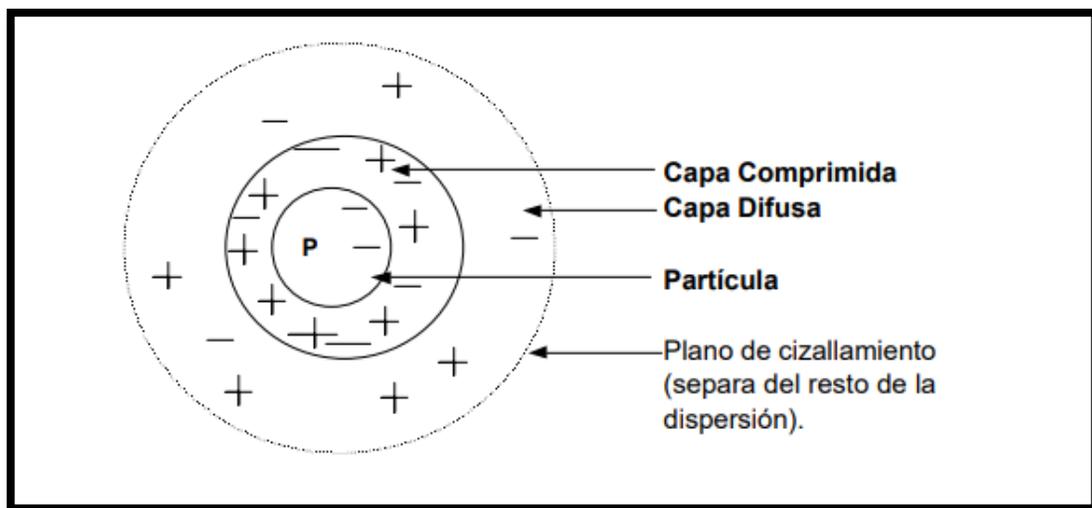
Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación, (Andía, Y. 2000).

✓ **Absorción y Neutralización de Cargas.**

Los coloides de carga negativa en su superficie, atraen los iones positivos que están en solución dentro del agua, formando la primera capa fijada al coloide. En la superficie del plano de cizallamiento (figura 5) los iones que se adhieren fuertemente a la partícula forman la capa comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo que entre la superficie de la partícula y la solución forman un potencial electrostático llamado Potencial Zeta el cual rige el movimiento de estos y su interacción. Luego de la doble capa, la coagulación inhabilita el potencial obtenido por la adición de insumos de coagulación – floculación, donde la fuerza de mezcla a causa del movimiento browniano no es suficiente, necesitando energía adicional de agitación mecánica (Andía, Y. 2000).

Figura 5

Doble Capa de Una Partícula coloidal

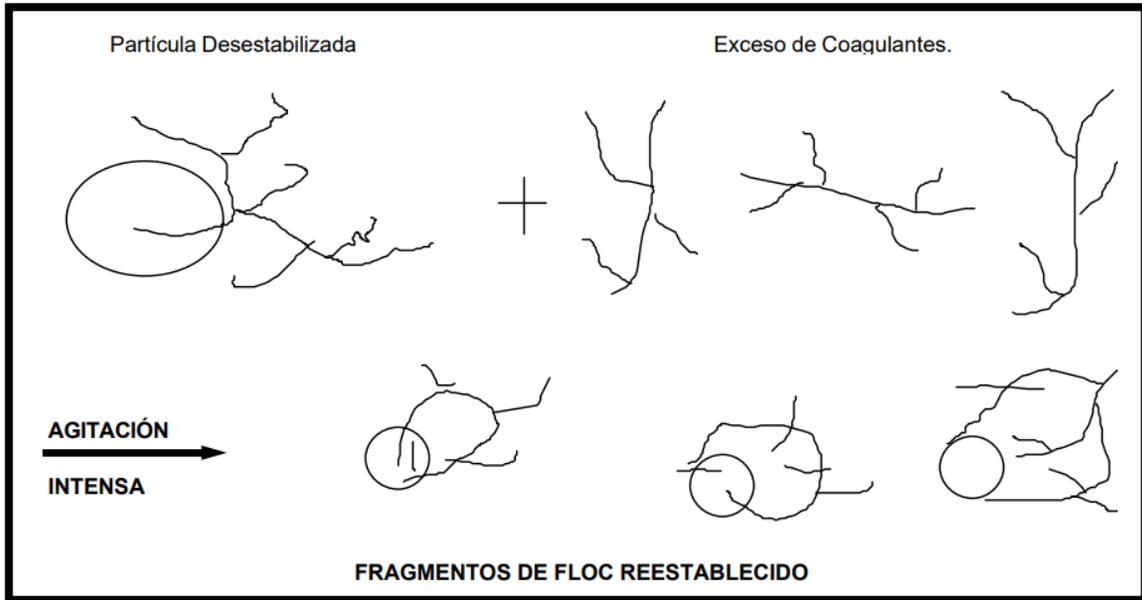


Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación, (Andía, Y. 2000).

Si en el agua a tratar se vierte un exceso de coagulante, se produce la reestabilización de la carga de la partícula, ya que la sobra de coagulante es absorbida en la superficie de la partícula, generando una carga inversa a la inicial. Así como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Reestabilización de Partículas



Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación, (Andía, Y. 2000).

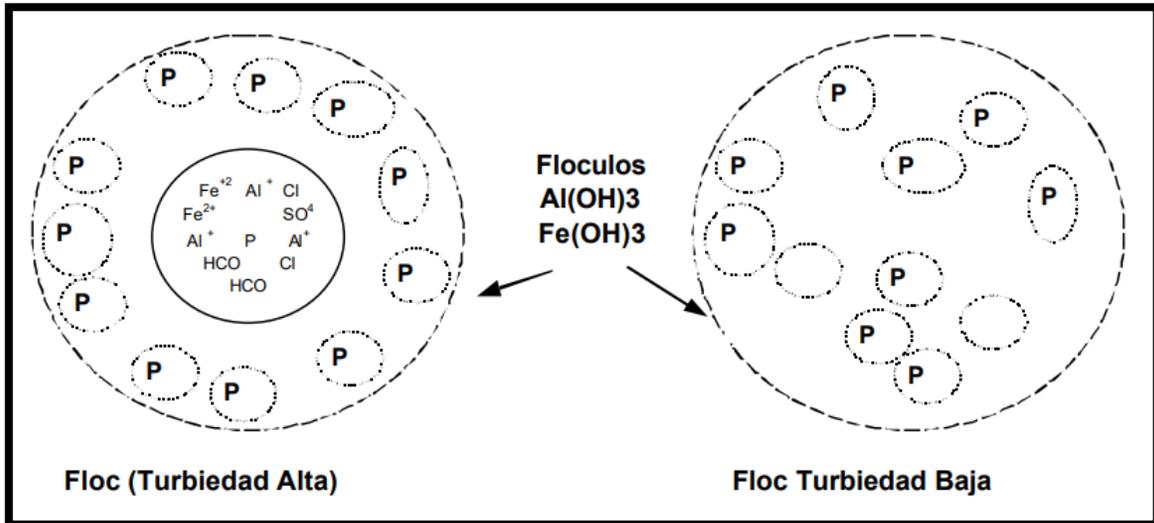
✓ *Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado.*

Cuando se añade una determinada cantidad de una sal como el sulfato de aluminio o Cloruro Férrico, las partículas inestables quedan dentro de un floc, el cual está compuesto por moléculas de hidróxido de aluminio o hierro. Una gran cantidad de partículas en suspensión puede necesitar menor cantidad de coagulante, es por ello que se puede decir que se produce una relación inversa entre la cantidad necesaria de agente coagulante y la turbiedad del agua (Andía, Y. 2000).

La Figura 7 muestra este mecanismo.

Figura 7

Atrapamiento de las Partículas en un Floc.



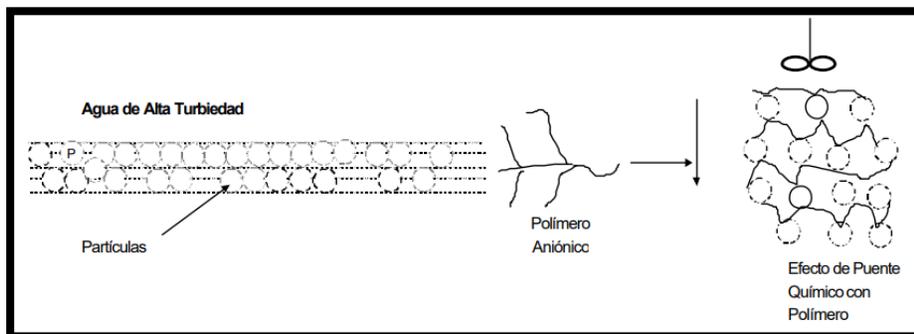
Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación, (Andía, Y. 2000).

✓ *Adsorción y Puente*

En la Teoría del Puente (figura 8) se hace referencia que, el proceso menos costoso es aquel donde se usa un polímero aniónico, es decir, sus partículas tiene carga negativa. Existen moléculas de polímero muy largas las cuales pueden absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades y en los espacios libres absorber otras; por ello si es abundante la carga de polímeros puede darse la reestabilización de la suspensión (Andía, Y. 2000).

Figura 8

Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión



Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación, (Andía, Y. 2000).

2.2.8.2. Factores que influye en la coagulación.

Existen factores que significan una desventaja al proceso de coagulación, sin embargo otros pueden ser ventajosos, ya sea para desestabilizar los coloides, para la formación de floculos y la precipitación de estos. Estos no pueden denominarse como benéficos o perjudiciales al proceso, porque en relación con otras propiedades influyen en la coagulación. Los factores principales que intervienen en la coagulación son: El tipo de coagulante empleado y las características del agua (Martínez, M. 2015). Se describen los siguientes:

✓ *Influencia del tipo de coagulante.*

El autor antes mencionado indica que existe una variedad de tipos de coagulantes los cuales tienen cualidades físicas y químicas variables, algunos se utilizan en aguas con altos niveles de magnesio y calcio, otros sirven para ajustar el PH. En aguas de poca turbiedad se agregan pequeñas porciones de partículas con la finalidad de formar flóculos densos que favorezcan la precipitación. Se debe realizar ensayos de laboratorio para elegir el coagulante, donde se pueda comparar los diferentes coagulantes a utilizar y la muestra de agua a la que se le da tratamiento.

✓ *Influencia de la cantidad de coagulante, temperatura del agua y tiempo de mezcla.*

El mismo autor señala que la porción de coagulante a usar depende del tiempo de mezcla y la temperatura del agua. Con una porción de coagulante usado, en temporadas frías se necesita un mayor tiempo de mezcla que en las temporadas cálidas. Para minimizar el tiempo de mezcla en temperaturas bajas se debe agregar más coagulante para remover la turbiedad, de forma práctica la dosis de coagulante con mejores resultados se calcula en función a la velocidad de asentamiento de los floculos. Si el agua tiene alcalinidad y PH favorables, al añadir más cantidad de coagulante que la mínima requerida se acelera el asentamiento de los floculos.

✓ *Influencia de PH.*

Un PH óptimo genera que con una dosis mínima de coagulante se produzca una adecuada floculación en un periodo corto de tiempo. Las aguas tienen un rango adecuado de PH el cual depende de la naturaleza de los iones, la alcalinidad del agua y el tipo de agente a utilizar. Para no desperdiciar coagulante, el proceso de coagulación debe realizarse dentro del PH más adecuado (6.5-8.5). Para lograr esto, se puede añadir una cantidad de ácido sulfúrico o cal al agua, permitiendo que con una mínima cantidad de coagulante se produzca la floculación (Martínez, M. 2015).

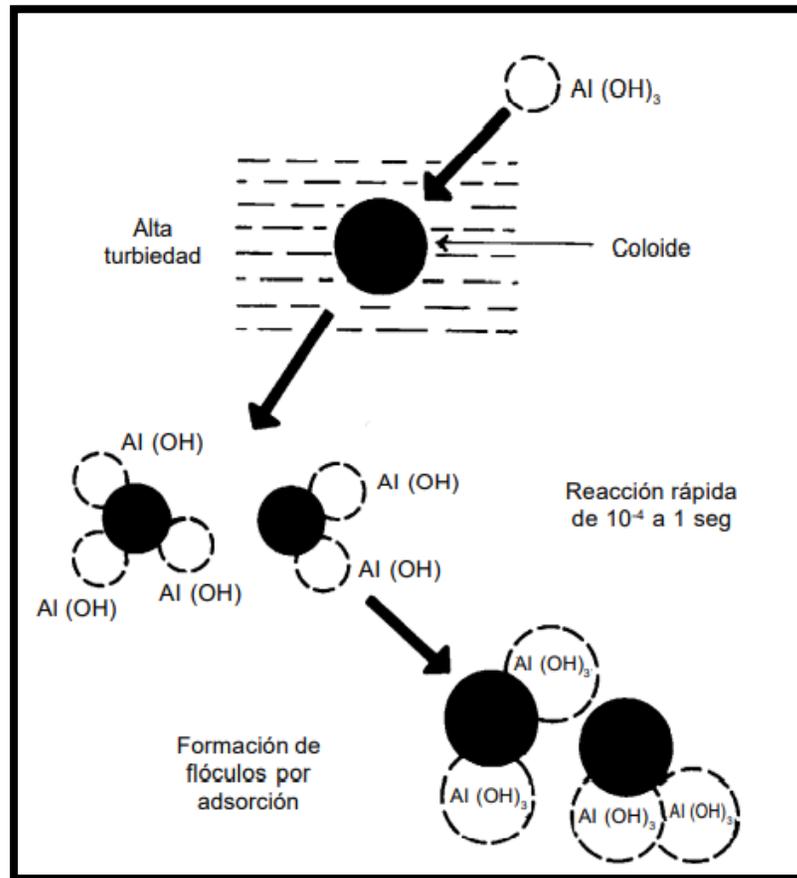
2.2.8.3. Tipos de Coagulación.

✓ *Coagulación por adsorción.*

“Si el agua tiene una elevada cantidad de partículas en estado coloidal; al agregar el coagulante en el agua turbia los compuestos solubles del agente coagulante son absorbidos por los coloides y forman los floculos de manera instantánea” (Puertas, E. y Torres, C. 2015). Así como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Coagulación por adsorción



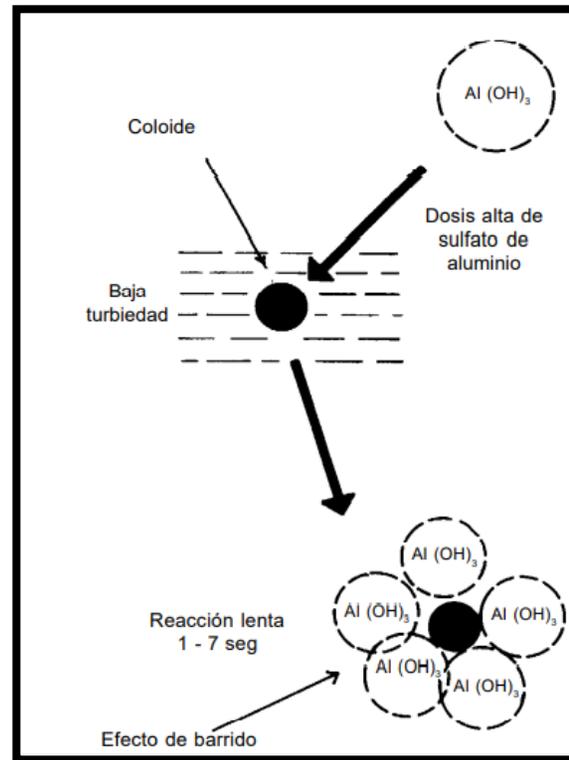
Fuente: Coagulación, (CEPIS, 2004).

✓ *Coagulación por barrido.*

Se produce cuando el agua es clara o de baja turbiedad, donde el número de partículas coloides es pequeña; en este caso, las partículas son atrapadas (figura 10), al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio (Puertas, E. y Torres, C. 2015).

Figura 10

Coagulación de Barrido o Arrastre de Partículas



Fuente: Coagulación, (CEPIS, 2004).

2.2.9. Proceso Floculación.

El proceso de floculación es la etapa superior a la coagulación, la cual consiste en agitación de la masa coagulada permitiendo la acumulación y crecimiento de los coágulos formando flóculos de gran tamaño y peso, fáciles de sedimentar. En esta etapa, es valioso conseguir flóculos de mayor peso y cohesión posible, ya que permiten eliminarlos, los flóculos se forman por la unión entre partículas (Puertas, E. y Torres, C. 2015). En la Figura 11 se muestra este proceso.

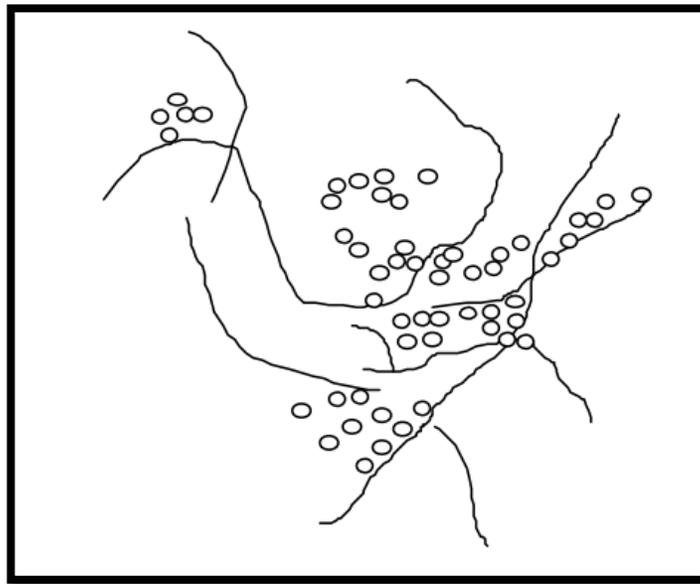
En este proceso intervienen tres mecanismos de transporte, que se indican a continuación:

- Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.

- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Figura 11

Floculación



Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación, (Andía, Y. 2000).

2.2.9.1. Factores que influyen en la Floculación.

- ✓ *Concentración y naturaleza de las partículas.*

La concentración y naturaleza de las partículas de floculación en el agua es proporcional a la rapidez de formación del coágulo o floc, así como de su tamaño inicial (Castrillón, D. y Ángeles, M. 2012).

✓ ***Influencia del tiempo de detención.***

El mismo autor indica que el tiempo de detención debe ser proporcional a la rapidez de acumulación de las partículas. Este tiempo debe encontrarse lo más cerca posible al óptimo calculado mediante la prueba de jarras, esto se consigue seccionando la unidad de floculación en cámaras; a medida que se incrementa el número de cámaras de floculación en forma secuencial, se obtiene cierta eficiencia en tiempos cada vez más cortos, el número mínimo de cámaras debe ser de tres unidades.

✓ ***Influencia del gradiente de velocidad.***

Respecto a este factor, Castrillón y Ángeles (2012), dice que este debe ser proporcional a la rapidez de acumulación de las partículas, donde para evitar la fractura del floc hay un límite máximo de gradiente que no debe ser superado. Este debe ir decreciendo al pasar a través de los compartimentos y no deben encontrarse gradientes elevados en cámaras intermedias.

2.2.9.2. Tipos de floculación.

✓ ***Floculación Pericinética.***

Este fenómeno es generado por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta incitado por la energía térmica, a esta acción se le llama movimiento browniano (Huaman, A. y Betancurt, J. 2019).

✓ ***Floculación Ortocinética.***

Los mismos autores mencionan que esto se produce por la colisión de las partículas a causa de la circulación del agua, es inducido al cuerpo de agua por energías mecánicas o hidráulicas.

Luego de la coagulación, se produce la acumulación de microflóculos, para ello debe darse inicialmente la floculación pericinética y luego la ortocinética.

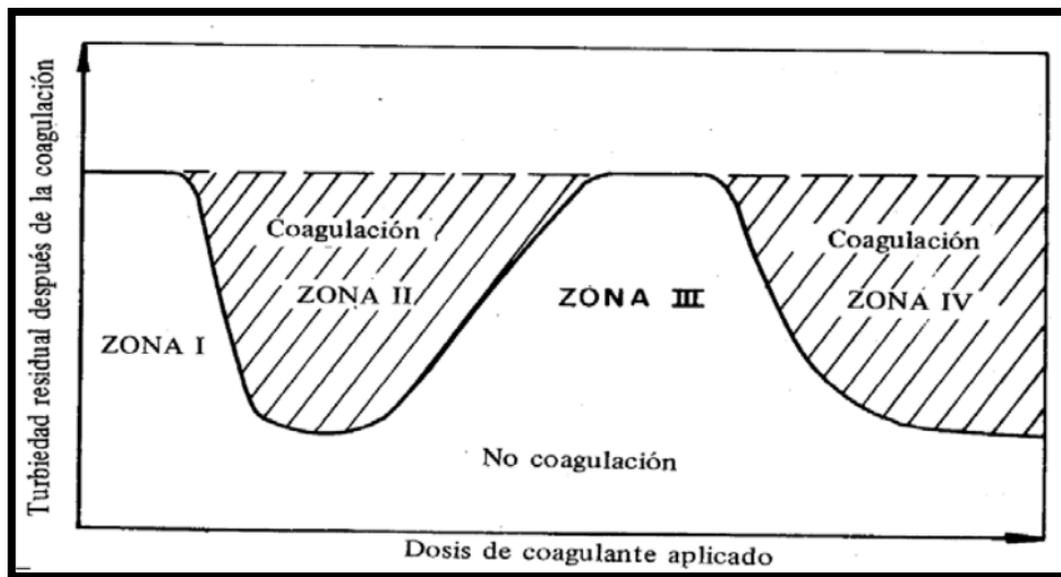
2.2.10. Remoción de turbiedad y color del agua.

✓ Remoción de turbiedad.

Si el agua tiene partículas originadoras de turbiedad y se le agrega una dosis creciente de coagulante, se origina el proceso que se muestra en la Figura 12 (Ojeda, L. 2012).

Figura 12

Remoción de Turbiedad



Fuente: Coagulación, (CEPIS, 2004)

- Zona I: La dosis del coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas, por ello no se produce coagulación.
- Zona II: Al aumentar la dosis de coagulante se genera una rápida aglutinación de los coloides.

- Zona III. Si se sigue incrementando la dosis, los coloides se reestabilizan y no se da una buena coagulación.
 - Zona IV. Si se aumenta la dosis hasta llegar a una supersaturación, se genera una rápida precipitación de los coagulantes que hace un “efecto de barrido”, arrastrando en su descenso partículas de turbiedad.
- ✓ **Remoción de color.**

El origen del color del agua se debe sustancias humificas las que su masa molecular varia de 800 a 50000 g/mol. Estas se encuentran en suspensión coloidal y presentan una simpatía por el agua. Se clasifican en diferentes ácidos como el ácido fulvico y ácido húmico; si se genera una reducción de PH, el color del agua también decrece (Ojeda, L. 2012).

2.2.11. Sedimentación de los floculos.

Luego de producirse la coagulaicon y floculación en el agua, se tiene que separar las partículas floculentas del líquido en las que se encuentran suspendidas; para ello se puede apoyar de proceso complementarios como la sedimentación y filtración. Estos procesos son complementarios en donde la sedimentación permite separar las partículas más densas que el agua y la velocidad de asentamiento les permite llegar al fondo de las unidades de sedimentación en tiempos reducidos y la filtración, separa las partículas de baja velocidad de asentamiento y de densidad cercana a la del agua (Olortegui, H. 2019).

2.2.12. Coagulantes.

Estos se clasifican en polielectrolitos o ayudantes de coagulación y coagulantes metálicos, ambos actúan como polímeros. En los primeros, las cadenas poliméricas están ya formada cuando se los añade al agua, mientras que en los segundos, la polimerización da inicio al colocar el coagulante al agua y los coloides presentes en la fase acuosa dan origen a la etapa de adoración.

La velocidad de asentamiento de las partículas coaguladas no depende exclusivamente de los coagulantes usados sino del peso de las partículas a sedimentar (Arboleda, J. 1992).

2.2.13. Polímeros (Coagulantes y floculantes)

El mismo autor indica que estos agentes de coagulación-floculación están formados por unidades básicas, denominadas monómeras, en los que sus enlaces covalentes se repiten sucesivamente, el nivel de polimerización depende del número de monómeros que configuran su cadena polimérica. Según la naturaleza de los grupos funcional que lo constituye depende el tipo de polímero, así las unidades monómeras que pueden formar polímeros, deben poseer como mínimo dos núcleos activos, los cuales permitan que la macromolécula formada conserve su forma inicial. Si las cadenas presentan diversos grupos funcionales activos se le llama polielectrolitos los cuales se dividen en polímeros sintéticos y naturales.

Además este autor indica que en las plantas generadoras de agua potables se utilizan insumos de alto peso molecular (10^4 a 10^7), los cuales se aplican al agua en bajas concentraciones (0.01 a 1.0 mg/l).

2.2.14. Polímeros sintéticos

“Han sido los más utilizados para el tratamiento del agua cruda, debido a su rendimiento, disponibilidad, costo y efectividad” (Shak, K. y Wu, Y. 2014). Estos agentes químicos actúan como coagulantes y floculantes, al ser disueltos forman compuestos complejos hidratados. Entre los más utilizados se hallan, sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio (Guzmán et al., 2013). Si bien estas sales químicas, presentan alta capacidad de coagulación- floculación, pueden llegar a ser nocivos para la salud humana y el medio ambiente (Bravo, M. 2017).

2.2.15. Polímeros naturales.

También llamados biopolímeros son una fuente alternativa que aún no se han explotado completamente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que suceden en plantas y animales (Guzmán et al., 2013). Estos agentes no presentan una sola composición química bien definida, ya que están conformados por diversos polisacáridos como el almidón, la celulosa y proteínas como la caseína (Kirchmer et al., 1975). Estos polímeros naturales se han usado por más de 4000 años en África, India y China como coagulantes, asimismo actúan como floculante en aguas con alta turbidez (Asrafuzzaman et al., 2011).

Estos agentes naturales son obtenidos a partir de tejidos de animales o vegetales, son seguros, amigables con el medio ambiente y poseen una pequeña o nula toxicidad. Producen una menor cantidad de lodos en los procesos de desestabilización de sólidos suspendidos y en la eliminación de sólidos disueltos. Estos compuestos naturales no gastan la alcalinidad del agua y por ello no generan cambios en el pH, algo que sí sucede con los coagulantes a base de sulfato de aluminio y cloruro férrico. Los almidones de origen natural obtenidos a partir de frutos secos pueden generar una remoción de sustancias contaminantes igual e incluso superior a los coagulantes químicos (Nieto, C. y Orellana, V. 2011).

“Los coagulantes naturales representan una opción amigable con el medio ambiente ya que alcanzan satisfacer los requisitos de las tecnologías ecológicas” (Rojas, Y. 2021). “Los métodos aplicables para la extracción de polímeros naturales son fisicoquímicos y físicos” (Kirchmer et al., 1975). En la Tabla 5 se muestra una lista de los polímeros naturales comúnmente ocupados para el tratamiento de agua.

Tabla 5*Polímeros Naturales que Tienen Propiedades Coagulantes o Floculantes.*

Nombre Común	Se extrae de	Parte de Donde se Obtiene
Agitato de Sodio	Algas, pardas marinas (Phoeophiceae)	Toda la planta
Tuna	Opuntia ficus indica	Las hojas
Almidones	Maíz	El grano o el tubérculo
	Papa	
	Yuca	
	Trigo	
Semillas de Nirmali	Strychnos potatorun	Las semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo	Corteza del árbol
Gelatina Común	Schinopsis Lorentzii	Residuos animales Huesos
	Animales	
Carboximetil Celulosa	Arboles	Corteza del árbol
Goma de guar	Cyanopsis psoroloides	Semillas

Fuente: Polímeros naturales y su aplicación en la floculación, (Kirchmer et al., 1975).

2.2.16. Almidón como agente de coagulación.

Este compuesto es muy abundante en el reino vegetal, es la mayor reserva de carbohidratos de la plantas y se pueden extraer fácilmente. Las fuentes principales de almidón son: maíz, yuca, papa, arroz, trigo, sagú, sorgo y araruta (Campos, J. y Bernardo, L. 1991). En la Tabla 6 se muestran algunos datos sobre la composición de estos alimentos.

Tabla 6*Porcentaje de Almidón, Proteínas, Fibras y Ceniza de Algunas Fuentes de Almidón.*

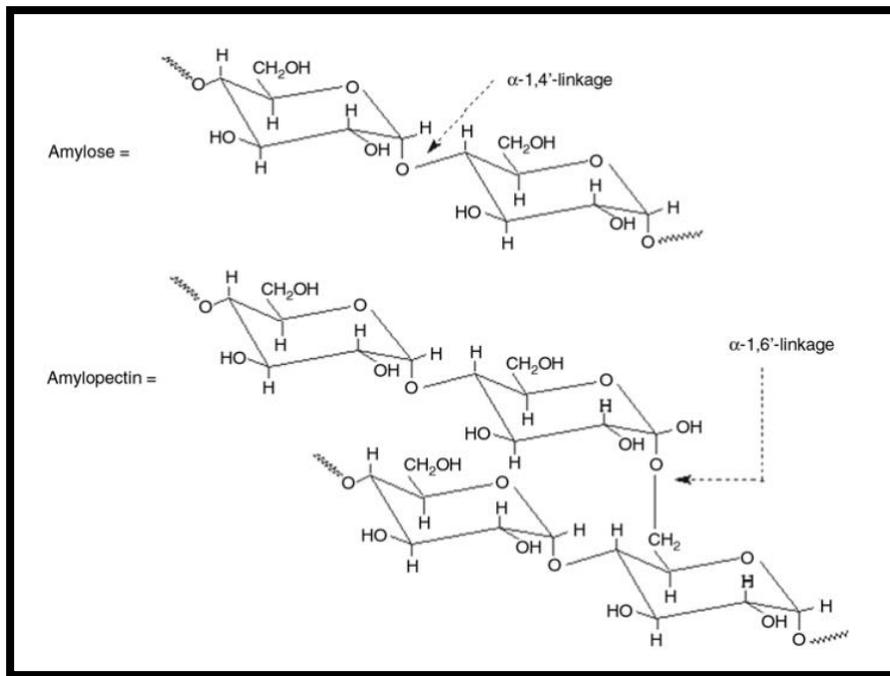
Componente	Composición (%)			
	Maíz	Trigo	Yuca	Papa
Almidón	55.5	64.0	21.5	20.0
Proteínas	8.2	12.5	1.1	2.1
Fibras	2.4	2.5	1.1	1.10
Ceniza	1.5	1.7	0.5	0.9

Fuente: Uso de polímeros naturales en el tratamiento de agua para abastecimiento, (Campos, J. y Bernardo, L. 1991).

El almidón es un carbohidrato altamente polimerizado cuyo monómero es representado por la glucosa. Su problema fundamental gira en torno a la determinación de su naturaleza, el número de uniones entre las unidades formadas por los monómeros y su distribución en la estructura del almidón (Campos, J. y Bernardo, L. 1991). Se sabe que el almidón está constituido por la combinación de los polisacáridos principales la amilosa y amilopectina. Las cuales están compuestas por unidades de glucosa, así en la amilosa se unen mediante enlaces α 1-4 generando una cadena lineal y en la amilopectina se muestran divisiones debido a α 1-6 (Labeaga, A. 2018). En la Figura 13 se muestra la estructura de estos polisacáridos.

Figura 13

Estructuras de la Amilosa y la Amilopectina



Fuente: Polímeros Biodegradables, (Labeaga, A. 2018).

2.2.17. *Triticum* (trigo)

El trigo pan (*Triticum aestivum*) y el trigo para fideo (*Triticum durum*) son las especies más difundidas en el mundo, se consideran como nuevas en comparación con la antigüedad de las especies progenitoras (Gambarotta, L. 2005). Según el género *triticum* se clasifican en: *Triticum durum* y *Triticum aestivum* y su clasificación taxonómica de muestra en la Tabla 7.

✓ ***Triticum durum*.**

Trigo duro, cristalino, de color ámbar y rojo, utilizando para la fabricación de pastas alimenticias. Sus orígenes se establecen en Abisinia y Oriente Próximo y su área de desarrollo en los países mediterráneos del medio este, sudeste de Europa, Sudáfrica, Norteamérica y Argentina (Ferrerías, R. 2009).

✓ ***Triticum aestivum*.**

Trigo “harino-panadero” destinado, prácticamente en su totalidad, al consumo humano. Es fuente de muchas investigaciones en el mundo entero. En Oriente Medio se cree que fue su origen, pero sus áreas de máximo desarrollo son Europa, Asia, África y América (Ferrerías, R. 2009).

Tabla 7

Clasificación Taxonómica del Trigo.

Taxonomía del trigo	
Reyno	Vegetal
Subreyno	Fanerógamas
Division	Cheteriodophitas
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Monocotiledónea
Orden	Cereales
Familia	Gramínea
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>Aestivum</i> o <i>vulgare</i>
N. Científico	<i>Triticum aestivum</i>
N. Común	Trigo

Fuente: Adaptado de (Ferrerias, R. 2009).

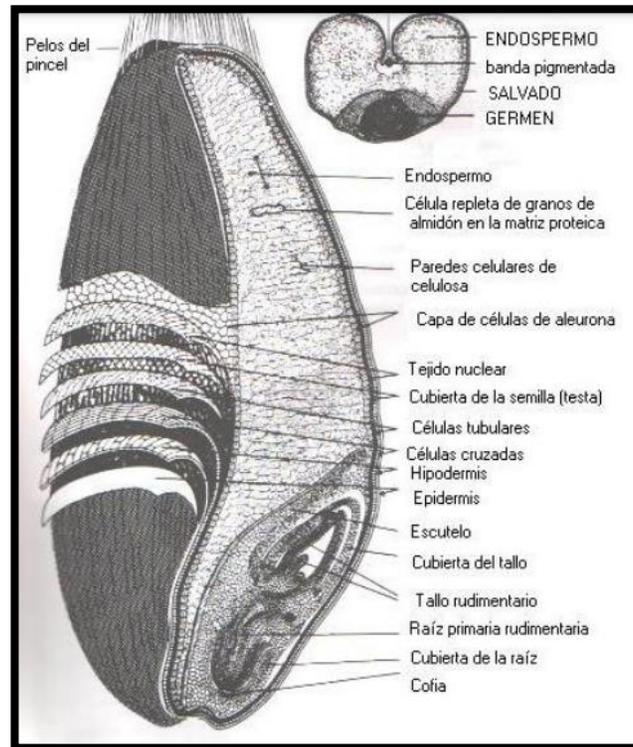
2.2.18. Composición del trigo

El trigo común (*Triticum aestivum*) es uno de los cereales más importantes del mundo, tiene como componente principal al almidón, compuesto por amilosa y amilopectina, el almidon representa del 60 % al 75 % del endospermo de trigo y constituye cerca del 64 % del grano entero sobre la base seca. El porcentaje de amilosa en el almidon se encuentra entre el 25-27% (Yunsong et al., 2021).

El trigo es parte de la familia de las gramíneas, estas producen frutos secos con una sola semilla. El fruto es una cariósida denominado comúnmente como grano. Está formado por una semilla cubierta por el pericarpio (denominado salvado) que se encuentra fuertemente adherido. La semilla está constituida por el embrión o germen y el endospermo, los cuales se hallan encerrados dentro de una epidermis nuclear sobre la cual se sitúa la cubierta de la semilla (Quispe, Y. 2012).

Figura 14

Estructural del Grano de Trigo en Sección Longitudinal y Transversal



Fuente: (Ferrerías, R. 2009).

“Los frutos maduros del trigo está formado por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, ácidos grasos, sustancias minerales y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas, enzimas” (González, E. y Martínez, A. 2017). “Esta composición se ve afectada por factores como las condiciones del cultivo y el año de cosecha, el 77-87% de la materia seca total lo constituyen los carbohidratos, dentro del cual se incluye al almidón y la fibra dietética” (Carrasco, J. y Saucedo, J. 2019).

2.2.19. Test de jarras.

Es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación, que es realizado a nivel de laboratorio permitiendo obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por

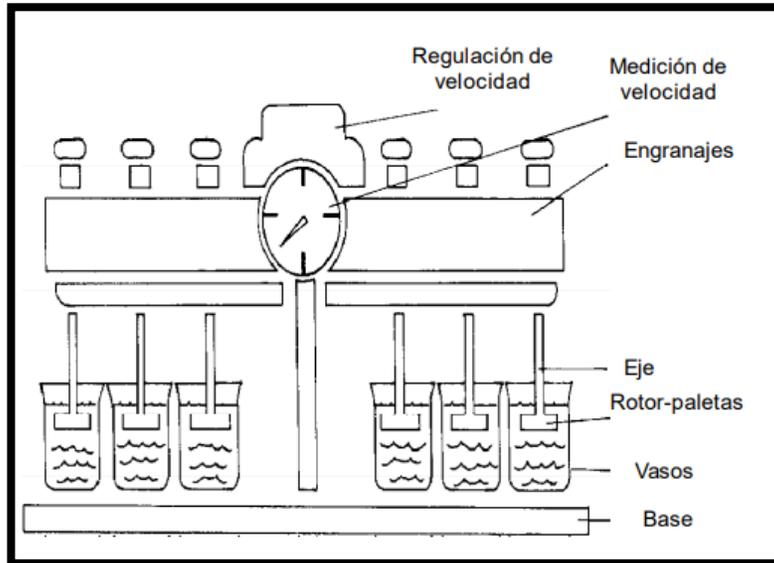
decanación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes (Pacheco, P. y Zapana, K. 2018). Según la información recopilada, se estima que la primera prueba de ensayo de jarras se llevó a cabo en la Universidad de California en 1918 por W. L. Langelier y sus aplicaciones iniciales fueron realizadas por John Baylis, Bartow y Petterson, Fleming, Nolte y Kromer (Pérez et al., 1992).

La Prueba de Jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación, la variación de los diferentes parámetros, como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinación (Pacheco, P. y Zapana, K. 2018). “Este ensayo es considerado como uno de los más importantes en el proceso de coagulación-floculación del agua. Para iniciar la prueba se necesita de datos previos como el valor de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda” (Fúquene, D. y Yate, A. 2018).

En la Prueba de Jarras, se utilizan variaciones en la dosis del coagulante y/o floculante en cada jarra (generalmente se usan equipos de seis (6) jarras, permitiendo la reducción de los coloides en suspensión y materia orgánica a través del proceso de floculación; es decir, simula los procesos unitarios de coagulación, floculación y sedimentación, permitiendo realizar el ajuste en el pH de cada muestra hasta llegar a los valores en los que la floculación alcanza sus mejores resultados, los cuales dependerán del tipo de reactivo a utilizar, aunque generalmente se maneja un pH entre 7,3 a 7,6 (Fúquene, D. y Yate, A. 2018). En la Figura 15 se muestra la representación del equipo de jarras.

Figura 15

Equipo de Prueba de Jarras.



Fuente: (CEPIS, 2004)

2.2.20. Ensayo para determinar la eficiencia

Comúnmente para medir la eficiencia de un sedimentador (jarras), se toma como la relación entre la concentración de partículas a la salida (N_t) y la concentración de partículas a la entrada (N_0) del decantador. Este sistema de medir la eficiencia tiene el inconveniente de que está influenciado por el valor de N_0 . Si N_0 es alto, las reducciones aparecen mucho más grandes que si es pequeño (CEPIS, 1972).

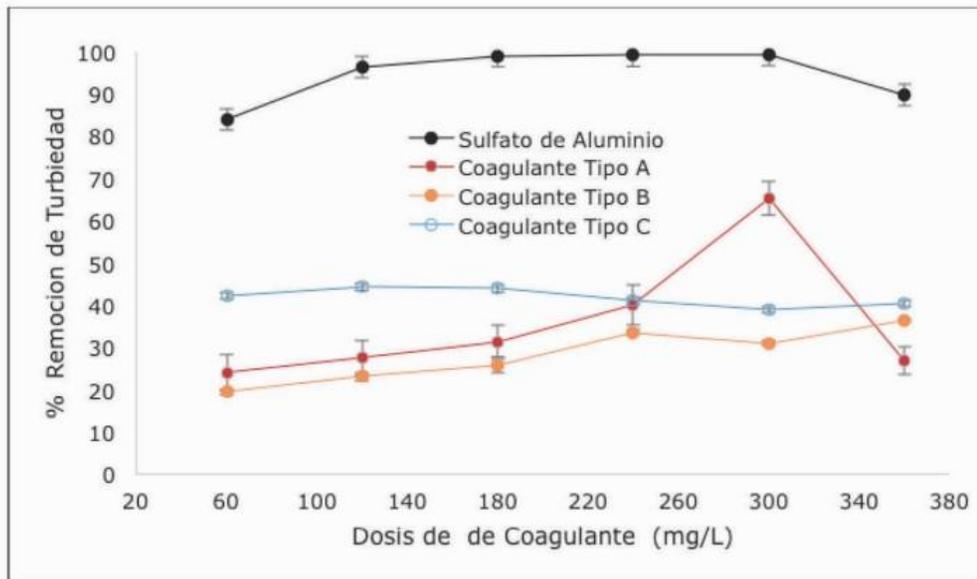
$$Eficiencia = \left(1 - \frac{N_t}{N_0}\right) * 100$$

Para determinar la eficiencia de los coagulantes, se realiza la prueba de jarras, para lo cual se emplean de 4 a 6 jarras de 1 o 2 litros donde se aplica la dosis y concentraciones deseadas, siguiendo el protocolo de Ocimum basilicum, quienes establecieron el desarrollo del test de jarras

mediante las etapas de dosificación, agitación rápida, agitación lenta y sedimentación (Barreto et al., 2019).

Figura 16

Gráfico de Eficiencias de la Dosis de Coagulante.



Fuente: (Barreto et al., 2019).

2.3. Definición de Términos Básicos.

- ❖ **Almidón.** Es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Velandia, Y. 2021, p. 44).
- ❖ **Dosis óptima.** La dosis óptima de coagulante se determina mediante test de jarras. Es de vital importancia considerando que cantidades muy pequeñas de coagulante impiden la neutralización total de la carga del coloide por lo que la formación de flóculos es mínima; mientras que dosis muy altas de coagulante invierten la carga de las partículas coloidales

haciendo que se formen gran cantidad de flóculos pequeños que se tardan demasiado en sedimentar (Velandia, Y. 2021, p. 44).

- ❖ **Concentración.** Es la cantidad de soluto disuelta en una cantidad dada de disolvente o de solución. Entre mayor sea la cantidad de soluto disuelta más concentrada estará la solución.
- ❖ **Prueba de jarras.** Es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros. En ella se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio (Acosta, L. 2006, p. 14).
- ❖ **Turbidez.** Propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta, siendo en el caso del agua causada por material coloidal, ya sea mineral, arcilloso, diminutas partículas de materia orgánica e inorgánica, algas, plancton y microorganismos, provocando la coloración del agua (Moreno, S. 2016, p. 8)
- ❖ **Color del agua.** El agua no tiene color pero cuando contemplamos un lago o paseamos por la orilla de un río, vemos masas de agua con diferentes coloraciones, a veces, es verdosa, otras azulada, muchas de color azul oscuro. El color del agua se debe a la absorción selectiva de la luz y su percepción depende de la materia disuelta en ella (Pradillo, B. 2014).
- ❖ **Coagulación.** Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Andía, Y. 2000, p. 9)
- ❖ **Floculación.** Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién

formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad (Andía, Y. 2000, p. 33)

- ❖ **Coloide.** Son suspensiones estables, por lo que es imposible sus sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua (Andía, Y. 2000, p. 7)
- ❖ **Partículas en suspensión.** Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causado por las partículas de materias inorgánicas (arcillas, limos, arenas), en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas (Andía, Y. 2000, p. 6)
- ❖ **Eficiencia.** Es la expresión que se emplea para medir la capacidad o cualidad de actuación de un sistema o sujeto económico, para lograr el cumplimiento de objetivos determinados, minimizando el empleo de recursos, también se define como el logro de las metas con la menor cantidad de recursos y como la propiedad según la cual la sociedad aprovecha de la mejor manera posible sus recursos escasos (Calvo et al., 2017, p. 103).
- ❖ **Solución.** Una solución es una mezcla homogénea de dos o más componentes, aquel que se encuentra en mayor proporción se llama solvente y las demás sustancias se denominan solutos y decimos que están disueltas en el disolvente.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Tipo y Nivel de Investigación.

La investigación es de tipo: **Aplicada** según su propósito y **descriptiva** según su naturaleza o alcance.

3.2. Diseño de la Investigación.

La investigación es **aplicada y descriptiva** utilizando la **experimentación** de tipo **pre-experimental**.

3.2.1. *Diseño pre-experimental.*

- Se realiza una medición previa de la variable dependiente a ser estudiada “Pre Test”
- Introducción o aplicación de la variable independiente o experimental “X” a los sujetos “Y”
- Una nueva medición de la variable dependiente en los sujetos, “Post Test”

Representación: $G: O_1 - X - O_2$

Donde:

O_1 : Pre Test (evaluación de la muestra de entrada)

X: Tratamiento (Aplicación de almidón de Trigo)

O_2 : Post Test (evaluación de la muestra de salida)

3.3. Método de Investigación.

3.3.1. *Proceso de extracción de almidón de trigo.*

En este proceso utilizamos los siguientes materiales, equipos, reactivos y procedimientos.

Tabla 8

Materiales, Equipos y Reactivos para la Extracción de Almidón.

Materiales	Equipos	Reactivos.
➤ Jarra de plástico de 1 litro.	➤ Molino mecánico.	➤ Agua potable
➤ Tamiz o filtro.	➤ Refrigeradora.	
➤ Balde de plástico de 4 litros.	➤ Balanza.	
➤ Bandejas de aluminio.		
➤ Mortero de madera.		

✓ **Procedimiento experimental.**

La obtención del almidón de trigo o coagulante natural se realizó mediante el método húmedo, el cual se describe a continuación:

- Materia prima: Compra de 3 kg de trigo harinero (*triticum aestivum*) en el mercado de abastos de la ciudad de Celendín.

Figura 17

Trigo Harinero, Dispuesto en Kilos en el Mercado de Abastos de Celendín



- Limpieza: Se lavó y seco los granos de trigo para eliminar impurezas.
- Triturado: Se llevó a moler los granos de trigo en un molino mecánica de la ciudad de Celendín y así convertirlo en harina.

Figura 18

Extracción de Harina de Trigo



- Mezcla: En el laboratorio de EAPIA, se pesó la harina y se disolvió en agua potable hasta formar una mezcla.

Figura 19

Pesado y Disolución del Harina con Agua.



- Filtrado 01: Se realizó el primer filtrado, para ello se usó un colador casero de 0.150 mm (malla N° 100) a fin de evitar el paso de otras sustancias (afrecho).

Figura 20

Filtrado por la malla N° 100



- Filtrado 02: Se realizó el segundo filtrado, utilizando una tela blanca de 0.075 mm (malla N° 200) para obtener un almidón de calidad.

Figura 21

Filtrado por la Malla N° 200



- Sedimentación: La solución que pasa en el proceso de filtrado, se deja reposar en refrigeración por 14 horas aproximadamente, luego se retira el agua decantada quedando el almidón sedimentado.

Figura 22

Refrigeración y Sedimentación del Almidón de Trigo



- Secado: El almidón sedimentado se secó al sol por 12 horas aproximadamente, además de realizar su pulverizado utilizando un mortero de madera.

Figura 23

Secado y Pulverizado del Almidón de Trigo



- Almacenamiento: Finalmente se pesó y envasó el almidón en un embace hermético.

Figura 24

Almacenamiento del Almidón de Trigo



3.3.2. Toma de muestras de agua.

En este proceso se utilizaron los siguientes materiales y procedimientos.

Materiales

- Guardapolvo, guantes, embace de tomas de muestras, cooler y bidones de 30 litros.

Las muestras de agua han sido tomadas del manantial la Quintilla a la entrada del pre-sedimentador de la PTAP del distrito de Sucre, mediante el siguiente proceso.

- ✓ **Toma de muestras para el análisis fisicoquímico.**
- Se purga el embace de plástico de 1 litro por tres veces con el agua que ingresa al pre-sedimentador de la PTAP del distrito de Sucre.
- Se toma la muestra de agua en el frasco purgado a 3 o 5 cm bajo el nivel del agua.

Figura 25

Toma de Muestra Para Análisis Fisicoquímico



- Se tapa, etiqueta y se coloca en el cooler para llevar al laboratorio de la calidad de la región Cajamarca para su respectivo análisis.
- ✓ **Toma de muestras para la prueba de jarras**
- Se realizó en el mismo punto de muestreo, para ello se cogió 100 litros de agua en tres bidones de plástico de 35 litros cada uno, asegurando la homogeneidad de las muestras.

Figura 26

Toma de Muestras para Prueba de Jarras



- Luego se transportó las muestras al laboratorio de la EPS/SEDACAJ para realizar la prueba de jarras, así como el análisis de los parámetros de turbiedad, PH y color del agua.

3.3.3. Ensayo de jarras.

Mediante este ensayo se evaluó las dosis y concentración de almidón de trigo harinero (*Triticum aestivum*) en la remoción de turbiedad y color aparente del agua del manantial la Quintilla. Para ello a continuación se detalla los materiales, equipos, reactivos y el procedimiento seguido:

Tabla 9*Materiales, Equipos y Reactivos Para el Ensayo de Jarras*

Materiales	Equipos	Reactivos.
➤ Pipeta graduada (01)	➤ Plancha de calentamiento	➤ Coagulante natural (almidón de Trigo)
➤ Probeta (02)	➤ Equipo de prueba de jarras	➤ Agua destilada
➤ Beaker de 50 ml (06)	➤ Turbidímetro	➤ Hidróxido de calcio o cal
➤ Fiolas de 100 ml (06)	➤ Balanza analítica	➤ Ácido sulfúrico
➤ Matraz de 100 ml	➤ Peachímetro	
➤ Jeringas hipodérmicas (06)	➤ Espectrofotómetro	
➤ Varilla de vidrio (01)		

✓ **Preparación de la solución base de almidón.**

La preparación de la solución de almidón al 5 % se realizó en caliente, mediante lo siguiente:

- Se pesó 5 gramos de almidón de Trigo con ayuda de una balanza analítica, se vierte en matraz de 100 ml de capacidad y se añade agua destilada hasta completar los 100 ml.
- El matraz con la solución, se colocó a hervir sobre una estufa sin dejar de agitar hasta que se forme como una mucosidad. Se retiró, se deja enfriar y se añadió agua destilada hasta completar los 100 ml. Esta solución tendrá una concentración de 50 000 ppm o de 5%.
- Esta muestra al 5 % es la solución base para luego pasar a preparar las diferentes diluciones a concentraciones de 0.5 %, 1%, 1.5 %, 2%, 2.5% y 3% con agua destilada.
- Finalmente las diferentes concentraciones se aplicó en el tratamiento del agua mediante el ensayo de Jarras.

✓ **Dosis que brinda mejores resultados de las dosis consideradas en la presente investigación**

“La finalidad de esta prueba es determinar cuál de las dosis de coagulante produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales” (CEPIS, 2004), después de haber recolectado la muestra de agua cruda homogénea, se realizó lo siguiente:

- Se tomó una pequeña porción del agua recolectada y se determinó los parámetros de la turbiedad, el color y el pH.
- Se llenó las jarras o vasos de 2000 ml de capacidad del equipo de jarras con el agua cruda recolectada del manantial “La Quintilla”.
- Se calculó la cantidad de coagulante natural (almidón de trigo) a aplicar para dosis de 15, 20, 25, 30, 40 y 50 mg/l mediante la ecuación de balance de masas.

$$q = \frac{D \times Q}{C}$$

Donde:

D=dosis de coagulante en mg/L

Q = capacidad de la jarra o vaso en litros

q = volumen de solución por aplicar (mL)

C = concentración de la solución en mg/L ó ppm

- Con una pipeta se colocó las cantidades de coagulante que se va a aplicar a las jarras en 6 fiolas de 50 ml de capacidad.
- Se succionó el contenido de cada fiola con una jeringa hipodérmica y se retiró la aguja.
- Se colocó cada jeringa frente a la jarra correspondiente. Pero previamente se colocó en funcionamiento el equipo de prueba de jarras.

- Se programó el equipo para una mezcla rápida de 5 segundos a una velocidad de 300 rpm y una mezcla lenta con un tiempo de 20 minutos a 40 rpm.
- Se aplicó en forma simultánea e instantánea el coagulante natural, introduciendo las jeringas a cada una de las jarras e iniciando el funcionamiento del equipo.
- El coagulante se aplicó en punto donde se vaya a producir la máxima turbulencia.
- Al terminar la mezcla lenta, se retiró las jarras del equipo y se dejó sedimentar (reposar) 15 minutos.
- Terminado el proceso de sedimentación se procedió a tomar muestras de todas las jarras, un volumen aproximado de 30 ml y se midió la turbiedad y color de estas.
- Estos resultados obtenidos se graficaron en papel aritmético y se seleccionó como dosis de mejor resultado (dosis optima) aquella que genera la menor turbiedad.

✓ **Concentración de las muestras para la investigación.**

“Diversos estudios han demostrado que la concentración del coagulante influye en la eficiencia de la mezcla rápida” (CEPIS, 2004). Es por ello que para establecer la concentración de coagulante natural que brinde mejores resultados en el proceso se realizó lo siguiente:

- Se preparó una solución base a una determinada concentración (5%), para que a partir de ella se preparen las soluciones al 0.5 %, 1 %, 1.5 %, 2 %, 2.5 % y 3 % deseadas.
- Se llena las jeringas de acuerdo a lo establecido en el procedimiento anterior, pero colocando en todas ellas la misma dosis óptima ya determinada. Lo único que varía es la concentración de las soluciones preparadas.
- Se realizó el proceso de mezcla rápida y mezcla lenta como en el proceso anterior y al finalizar se dejó sedimentar 15 minutos, para luego medir la turbidez de cada muestra.

- Se graficó los valores obtenidos en cada vaso, donde la concentración de mejor resultado (concentración óptima) es aquella que produzca mayor remoción de turbiedad.

✓ **PH de mejor resultado en la floculación**

Para determinar el PH que brinde el mejor resultado de la muestra a analizar, se realizó lo siguiente:

- Si la muestra de agua estudiada tiene un problema de turbiedad, la prueba de jarras debe efectuarse de 6 a 9 de PH; si el problema es color, en el rango de 4 a 7.
- Si la muestra tiene un PH básico y se desea obtener un PH ácido se añade ácido sulfúrico y si sucede lo contrario se agrega cal.
- Al establecer los rangos de PH, se procedió a llenar las 06 jarras de 2000 ml con las muestras de agua de diferente PH previamente preparadas.
- Con la dosis y concentración óptima de almidón de trigo ya determinadas, se prepara la nueva solución en un beaker de 100 ml de capacidad.
- De la solución preparada en el vaso de 100 ml se succiona con una jeringa hipodérmica y se inyecta a cada jarra la misma cantidad de esta.
- Luego se preparó el equipo de jarras y se realizó los mismos pasos que en el proceso de la dosis óptima.
- Al finalizar la mezcla lenta y dejar sedimentar 15 minutos, se tomó muestras de 30 ml de volumen aproximadamente en vasos de 50 ml, para medir la turbiedad residual del agua.

- Se graficó los datos obtenidos en las diferentes jarras, seleccionando como PH de mejor resultado (PH óptimo) para la investigación, aquel que genere mayor remoción de turbiedad.

✓ **Determinación de los parámetros de floculación.**

Para determinar los parámetros de floculación se siguió el siguiente procedimiento:

- Se tomó la muestra de agua cruda y se determinó los parámetros básicos de calidad: Turbiedad y/o color, pH.
- Se llenó las 6 jarras con una muestra del agua del manantial La Quintilla a flocular y se aplicó la dosis modificadora de PH, además se preparó la solución con la dosis óptima a concentración óptima de almidón de trigo (coagulante) determinados anteriormente.
- Se colocó a funcionar el equipo con la máxima velocidad de rotación de las paletas
- Se aplicó el coagulante a las muestras de agua y a partir de esto se realizó la mezcla rápida (300 rpm) durante un tiempo de 5 segundos aproximadamente.
- Terminada la mezcla rápida, se inició el proceso de floculación, para esto se programó el equipo para uno de los gradientes de velocidad seleccionados. En nuestro caso el rango seleccionado se encuentra entre 20 S-1 y 80 S-1.
- A los 5 minutos de iniciado el proceso de floculación se retiró la primera jarra, se dejó reposar por 10 minutos y se tomó la muestra para analizar. Al cabo de 10 minutos, se retiró la segunda jarra; a los 15, la tercera; y así sucesivamente, hasta retirar la última jarra. En todas las jarras se realizó el mismo proceso que en primera jarra.
- En la muestra tomada de cada jarra, se mide turbiedad final (Tf), se calcula la eficiencia de remoción de la turbiedad con ayuda de siguiente fórmula y se anotan los datos.

$$Remocion(\%) = \frac{T0 - Tf}{T0} \times 100$$

Donde:

R (%): porcentaje de remoción

T0: turbiedad del agua antes de la prueba (turbiedad inicial)

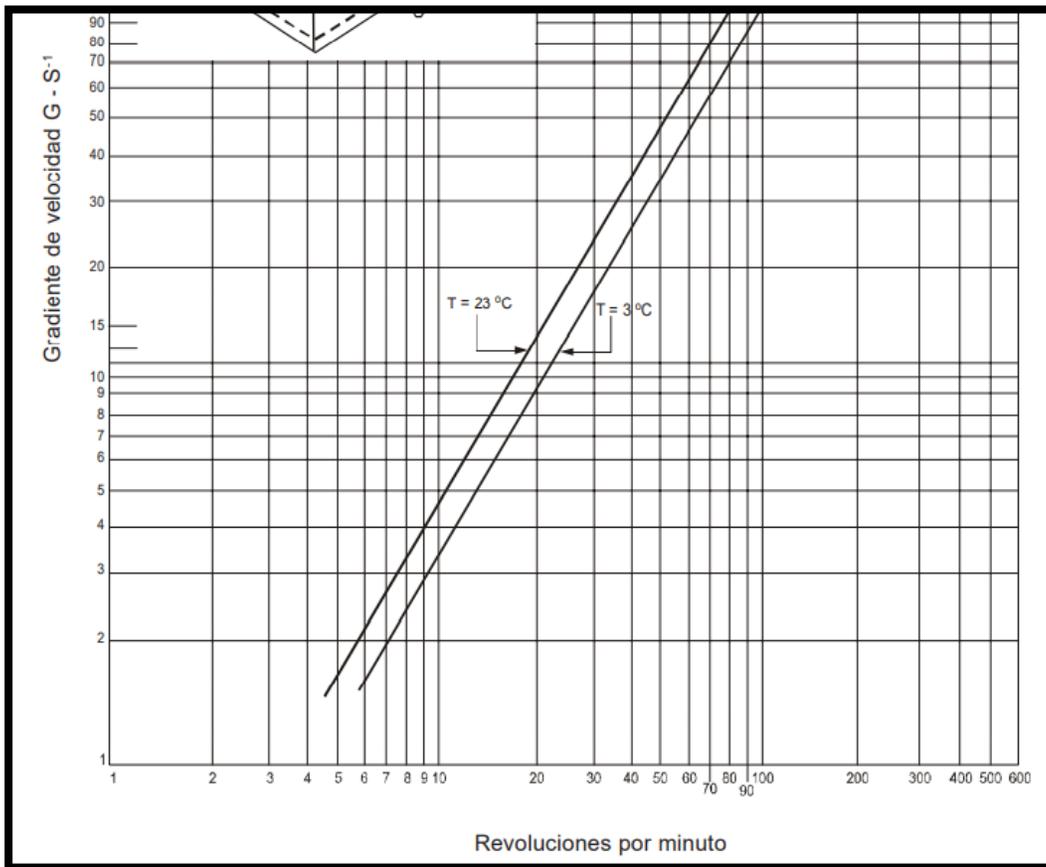
Tf: turbiedad después de la prueba (turbiedad final)

- Este ensayo se repite variando los gradientes de velocidad seleccionados, cada 20 S-1
- Al finalizar la pruebas, se procede a determinar la eficiencia de remoción ($Tf/T0$) y el tiempo de floculación de cada una de las jarras para luego graficar estos datos obtenidos. El grafico ayudó a determinar la duración total de floculación, en base al punto de la gráfica que genera el menor valor de turbiedad.
- Luego se grafican los valores de $Tf/T0$ versus gradientes de velocidad, para cada tiempo de floculación establecido. En el gráfico se genera una curva la cual tendrá un punto de inflexión (punto más bajo) correspondiente al gradiente de velocidad del equipo de jarras que brinda el mejor resultado con este tiempo. En este punto se produce la máxima eficiencia remocional para el tiempo establecido. Este proceso de análisis se realiza en cada curva generada.
- Posteriormente los valores de gradientes de velocidades con mejores resultados (óptimos) versus el tiempo se grafican en papel doble logarítmico, donde se determina aplicando mínimos cuadrados la línea de mejor ajuste de los puntos obtenidos, se halla la ecuación de correlación y el grado de ajuste, si este es aceptable ($r^2 = 0,90$) se sigue con el cálculo, de lo contrario hay que repetir el procedimiento de laboratorio, teniendo más cuidado.

- Determinando la duración (tiempo) total de floculación, se divide según el número de tramos que tiene el floculador o el que vaya tener la unidad que se proyecta, con estos se ingresa al gráfico y se establece las gradientes de velocidad correspondiente.
- NOTA: Para determinar la relación de la gradiente de velocidad con las revoluciones por minuto (RPM) de un equipo de prueba de jarras con recipientes de 2 litros y de acuerdo a una temperatura, se utilizará el ábaco de la Figura 27.

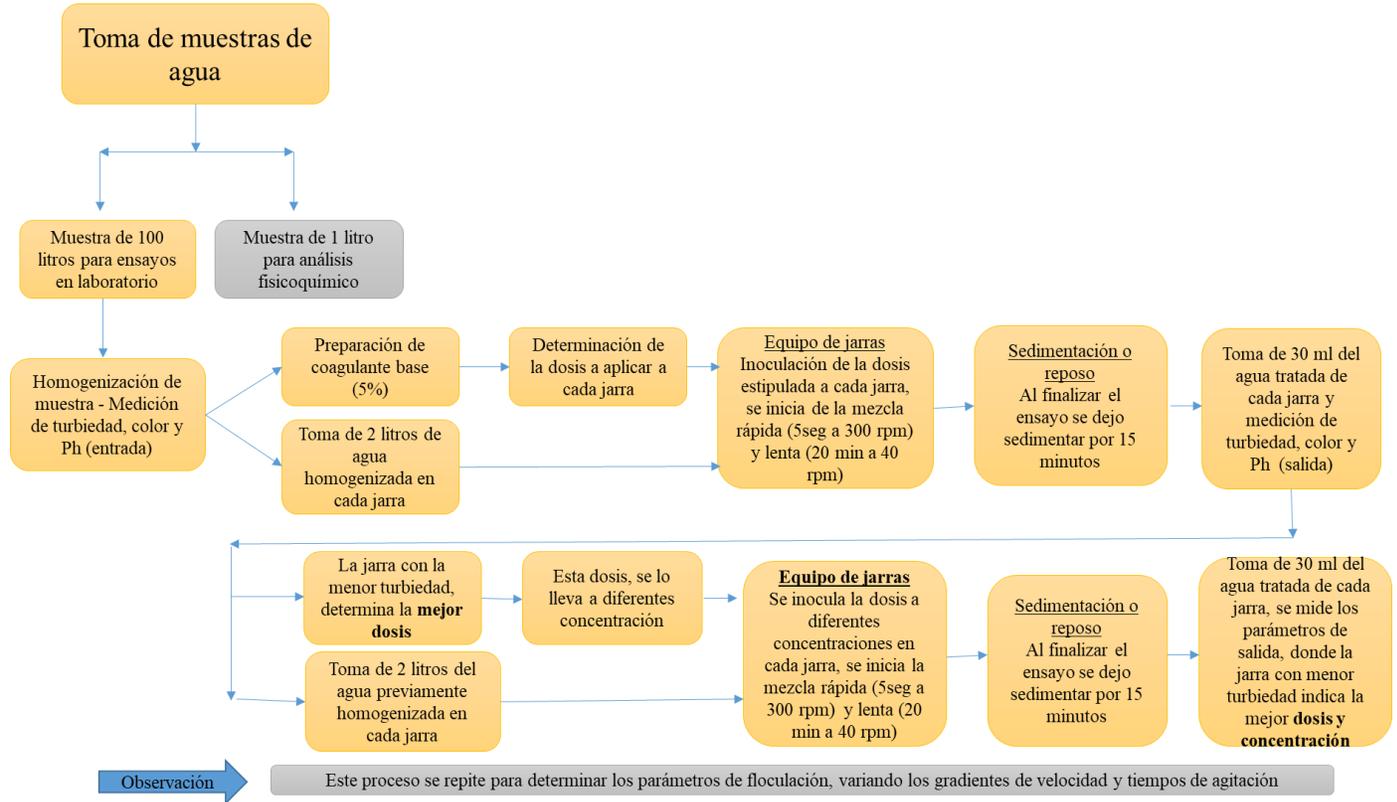
Figura 27

Abaco: Relación de Gradiente de Velocidad con RPM



Fuente: (CEPIS, 2004)

3.3.4. Representación esquemática del proceso seguido en la investigación.



3.4. Método de Análisis de Datos.

Para el análisis de datos que se obtengan en el laboratorio, se va a utilizar la estadística deductiva T-student, la cual ayudará a comprender mejor los resultados y contrastar la hipótesis planteada. La elección de la prueba específica a utilizar, se realiza en base a la investigación. Para el caso, la variable de comparación o aleatoria es numérica, la cual genera dos medidas (antes y después); por ello la prueba elegida es la **T-Student para muestras relacionada**, así como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Elección de la Prueba Estadística.

Variable Aleatoria Variable fija		Pruebas no Paramétricas			Pruebas Paramétricas
		Nominal Dicotómica	Nominal Politómica	Ordinal	Numérica
Estudio transversal	Un grupo	χ^2 Bondad de ajuste Binomial	χ^2 Bondad de ajuste	χ^2 Bondad de ajuste	T-Student para una muestra
	Dos grupos	χ^2 de Homogeneidad Corrección de Yates Test exacto de Fisher	χ^2 de Homogeneidad	U mann-Withney	T-Student para una muestras independientes
Estudio Longitudinal	Más de dos grupos	χ^2 de Homogeneidad	χ^2 de Homogeneidad	H Kruskal-Wallis	ANOVA con un factor INTERsujetos
	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T-Student para muestras relacionadas
Muestras relacionadas	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas Repetidas

Fuente: T student muestras relacionadas, (Varela, A. 2013).

3.4.1. Prueba T-student para muestras relacionadas.

También se le conoce como pruebas “Ex – Post” (Antes y Después). Si bien la prueba T-student para muestras relacionadas permite confrontar dos muestras asociadas, pero debe cumplir con:

- Selección aleatoria de los grupos.
- Homocedasticidad (homogeneidad de las varianzas de la variable dependiente en ambos grupos).
- Distribución normal de la variable dependiente en los dos grupos.
- Nivel intervalar de la variable dependiente.

La finalidad de esta prueba es en confrontar un par grupos de puntuaciones y establecer que la diferencia sea estadísticamente significativa y no se deba al azar (Juárez et al., 2002).

3.4.2. Nivel de significancia alfa (α)

En la investigación el nivel de significancia será del 5 %; es por ello que el porcentaje de error que se está asumiendo al realizar la prueba es de: $\alpha=0.05$

3.4.3. Criterios para determinar la normalidad.

- P-Valor $< \alpha$ ➡ Aceptar **H_i** los datos no provienen de una distribución normal.
- P-Valor $\geq \alpha$ ➡ Aceptar **H_o** los datos provienen de una distribución normal.

3.4.4. Elección estadística

- Si el valor calculado P-Valor $\leq \alpha$ rechaza la H_o, (se acepta la H_i).
- Si el valor calculado P-Valor $> \alpha$ se acepta la H_i, (se rechaza la H_o).

3.5. Cobertura del Estudio.

3.5.1. Población.

- El agua del manantial la Quintilla, la cual abastece a la ciudad de Sucre.

3.5.2. Muestra

- La muestra de la investigación es de 100 litros de agua tomados del manantial la Quintilla, para realizar el test de jarras, esto por cada muestreo (5veces).

Muestreo: El tamaño de la muestra se definió mediante el muestreo **no probabilístico**, donde la elección de los elementos no depende de la probabilidad, si no de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos de la investigación (Carrizales, R. y Enríquez, N. 2019).

3.5.3. *Unidas de análisis*

- Jarras de 2 litros analizadas con diferentes dosis y concentraciones del almidón de trigo.

3.5.4. *Ámbito geográfico.*

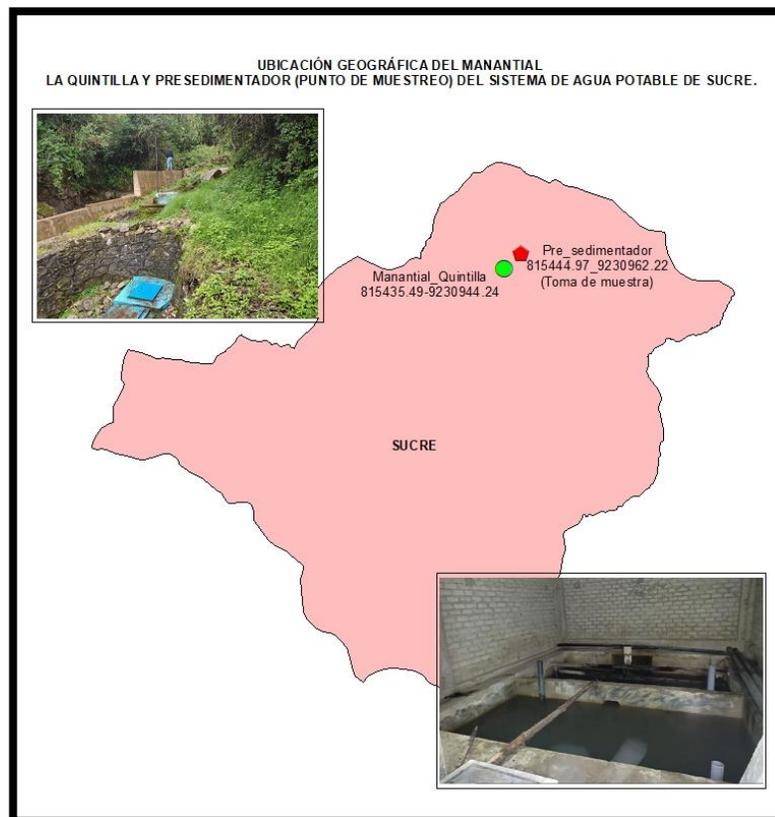
✓ **Ubicación geográfica de la zona de estudio**

El manantial la “Quintilla” geográficamente se encuentra en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 17 M sur): 815435.49 E - 9230944.24 N y el Pre-sedimentador en 815444.97 E – en 9230962.22 N.

En la Figura 28 se muestra las coordenadas del punto de muestreo y del punto de afloramiento del manantial.

Figura 28

Ubicación Geográfica del Punto de Muestreo



Fuente: Croquis del punto de monitoreo, INGEMMET carta 14 G y ArcGIS.

Ubicación geográfica del distrito de Sucre y sus límites geográficos son los siguientes:

➤ Por el Norte: Distrito de José Gálvez, de coordenadas UTM:

José Gálvez: WGS 84 zona 17S: 816836.3E – 9233555.2N

➤ Por el Oeste: Distrito de Encañada, de coordenadas UTM:

Encañada: WGS 84 zona 17S: 793295.5E - 9215831.6N

➤ Por el Sur: Distrito de Oxamarca, de coordenadas UTM:

Oxamarca: WGS 84 zona 17S: 823455.4E - 9220846.6N

➤ Por el Este: Distrito de Jorge Chávez, de coordenadas UTM:

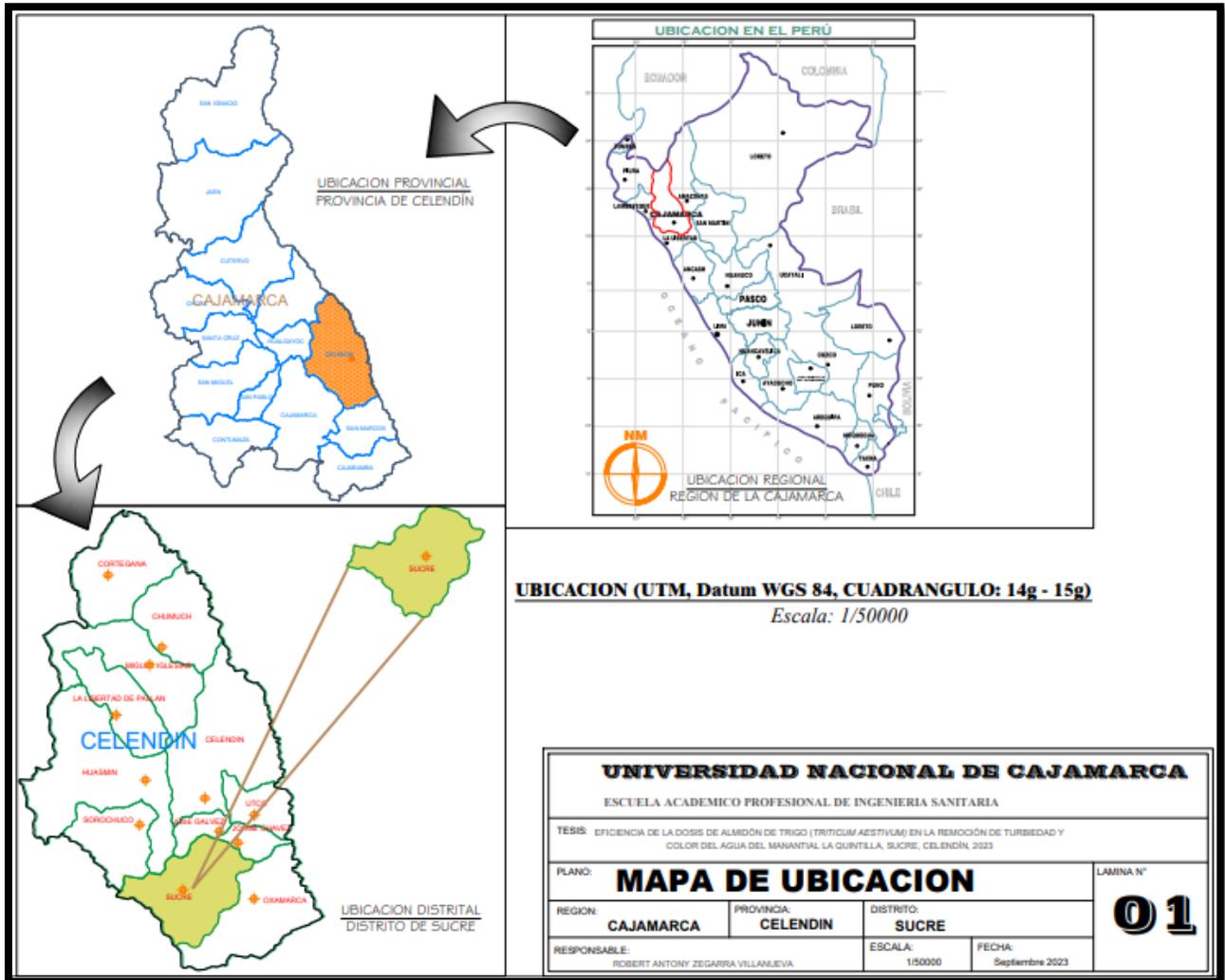
Jorge Chávez: WGS 84 zona 17S: 821403.2E- 9231743.9N

✓ **Ubicación política.**

El manantial la “Quintilla”, geopolíticamente se encuentra en el distrito de Sucre, provincia de Celendín, departamento Cajamarca. La Figura 29 muestra la ubicación del distrito de Sucre.

Figura 29

Mapa de Ubicación del Distrito de Sucre.



Fuente: INGEMMET carta 14 G y ArcGIS.

✓ **Descripción de la zona de estudio.**

El acceso al manantial la “Quintilla” es mediante un camino de herradura de 600 metros de longitud en dirección oeste, el cual conecta el manantial con la vía afirmada que va del distrito de Sucre hacia la ciudad de Cajamarca, el manantial aflora a 2781 msnm aproximadamente junto

al cauce de la quebrada que da origen al río “Sucre”. En la Figura 30 se muestra la zona de captación, el pre-sedimentador y el sentido de flujo del cauce del río “Sucre”.

Figura 30

Vista de la Zona de Captación y Pre-sedimentador.



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de Google Earth.

a. Clima.

La información meteorológica más representativa del distrito de Sucre, es proporcionada por la estación meteorológica CO – Celendín – SENAMHI, ubicada en la ciudad de Celendín a 2607 msnm aproximadamente, con las siguientes coordenadas UTM 815576.9E - 9241558.9N. De acuerdo a los periodos de verano, invierno y temporadas de transición, el comportamiento estacional describe lo siguiente:

- Climáticamente, la provincia de Celendín y el distrito de Sucre presenta dos estaciones características marcadas: una lluviosa de octubre a abril y otra seca de mayo a setiembre, cada una con sus respectivos periodos de transición.
- La precipitación promedio anual es de 0.07 mm/hora y una temperatura máxima promedio de 14.06 °C.

Tabla 11

Precipitación Promedio Mensual del Distrito de Sucre, 2022.

Precipitación Promedio (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2021	0.126	0.05	0.30	0.089	0.085	0.042	0.01	0.027	0.05	0.086	0.001	0.001

Figura 31

Curva de la Precipitación Promedio Mensual del Distrito de Sucre, 2022.

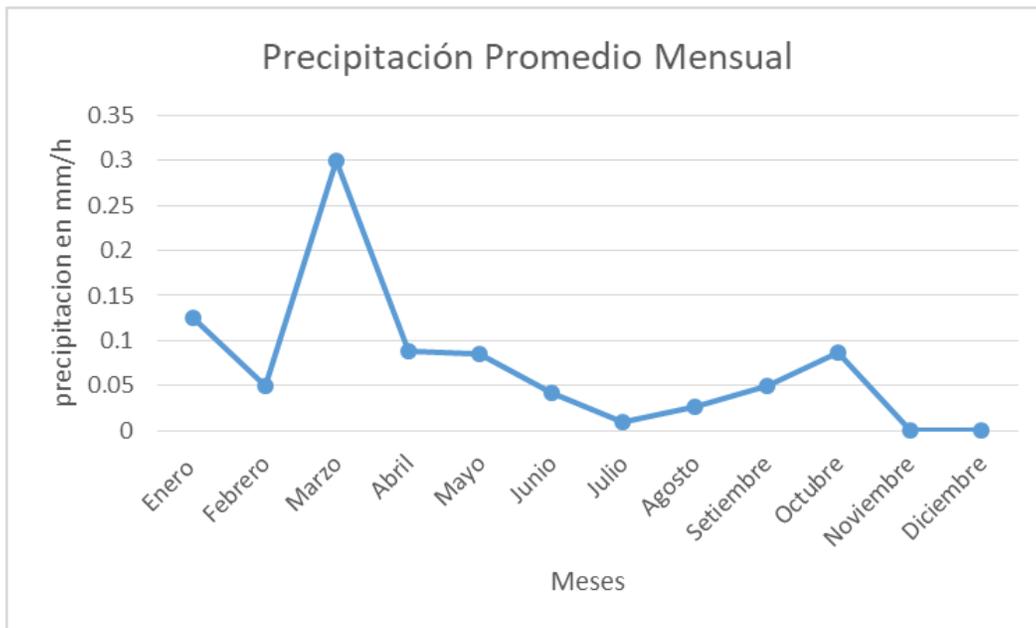


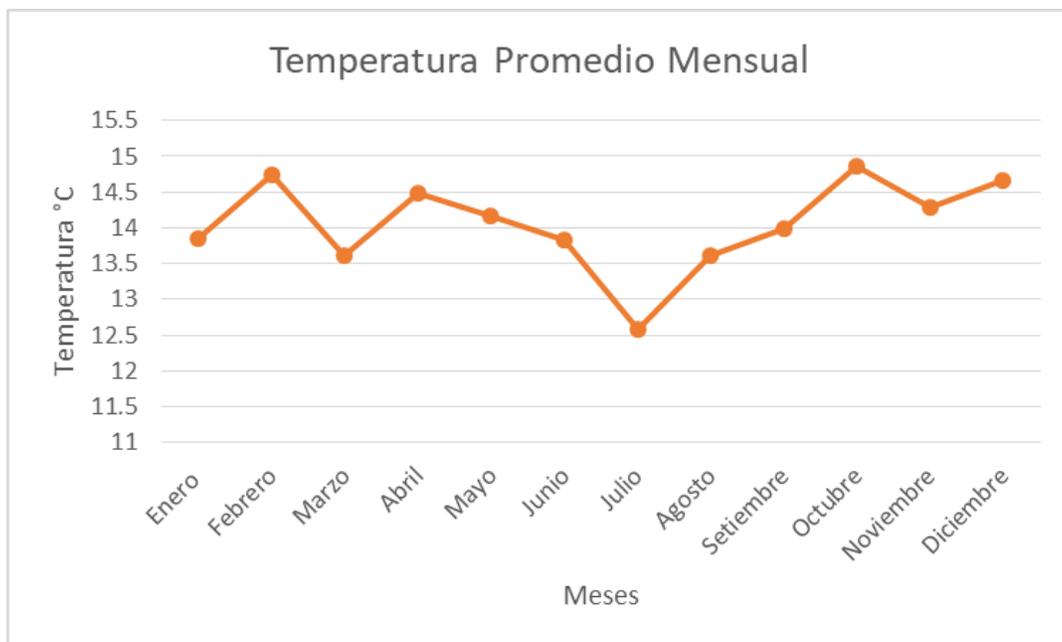
Tabla 12

Temperatura Media Mensual del Distrito de Sucre, 2022.

Temperatura Media Mensual en °C												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2021	13.85	14.7	13.6	14.49	14.17	13.83	12.5	13.61	13.9	14.86	14.29	14.66

Figura 32

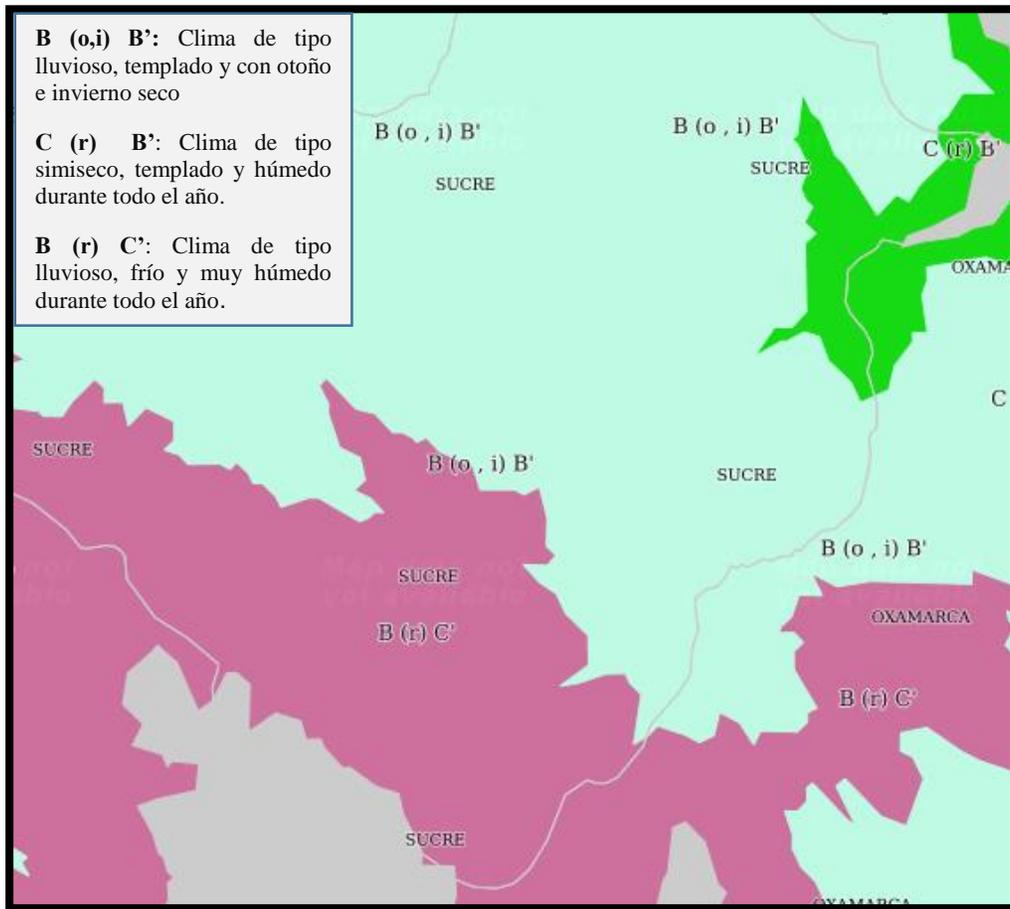
Curva de la Temperatura Media Mensual del Distrito de Sucre, 2022.



Según el mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI utilizando el método de Werren Thornthwaite se puede clasificar al clima de la provincia Celendín como: Zona de clima semi frío, lluvioso, con lluvia deficiente en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Específicamente según esta clasificación el distrito de Sucre presenta un clima de tipo lluvioso, templado y con otoño e invierno seco, así como se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Clima del Distrito de Sucre.



Fuente: Adaptado del mapa climático del Perú elaborado por el SENAMHI.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

- **Técnicas.** “La técnica es la **observación experimental:** porque el investigador puede manipular la o las variables y de esta manera obtener datos en condiciones relativamente controladas” (Carrizales y Enríquez, 2019). Así se realizara el estudio del almidón de trigo, muestreo de agua, análisis de parámetros y la evaluación estadística de los resultados.

- **Instrumentos.** Test de jarras, Multiparametro, Turbidimetro, Espectrofotómetro, Balanza analítica y Fichas de resultado de laboratorio.

3.7. Procesamiento y Presentación de Datos.

El procesamiento de datos se realizó con el programa de Micromicrosoft EXCEL y la presentación de datos procesados es mediante Tablas y Figuras.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la Obtención del Almidón de Trigo.

El almidón utilizado como agente de coagulación – floculación fue obtenido del trigo harinero, el cual se caracteriza por tener forma ovoide, estructura dura y textura suave.

El proceso de extracción del almidón de trigo se detalló en la parte metodológica, el resultado obtenido fue de 731 gramos de almidón a partir 1500 gramos de harina trigo. Con estos datos se calculó el rendimiento del trigo harinero para producir almidón mediante la siguiente formula:

- Peso de materia prima (harina de trigo) = 1500 gr
- Peso del almidón de trigo = 731 gr
- Carbohidratos, proteínas y lípidos = 787 gr

$$\text{Rendimiento} = \frac{731}{1500} \times 100 = 48.7 \%$$

Figura 34

Peso del Almidón de Trigo Pulverizado.



Según el cálculo anterior se puede afirmar que de 1500 gr de harina de trigo el 48.7 % es almidón (amilosa y la amilopectina) y el 51.3 % lo forman otros compuestos como los carbohidratos, proteínas y lípidos.

4.2. Resultados de los Ensayos de Jarras.

4.2.1. Primera prueba.

Para determinar la mejor dosis y concentración del almidón en estudio se muestra las características del agua natural y parámetros a considerar, esto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13

Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (1).

Agua Natural	Mezcla Rápida	Mezcla Lenta	Sedimentación(reposo)
Turbiedad Inicial (UNT): 49.70	Velocidad (RPM): 300	Velocidad (RPM): 40	Tiempo (min): 15
PH: 7.36	Tiempo (s): 5	Tiempo (min): 20	
Temperatura (°C): 16.20			
Color Aparente: 220			

➤ **Determinación de la eficiencia de la dosis de coagulante.**

El proceso para determinar la mejor dosis se detalló en ítems anteriores, en la siguiente tabla se muestra las características y parámetros de la muestra de entrada además de resultados obtenidos después del ensayo.

Tabla 14

Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (1)

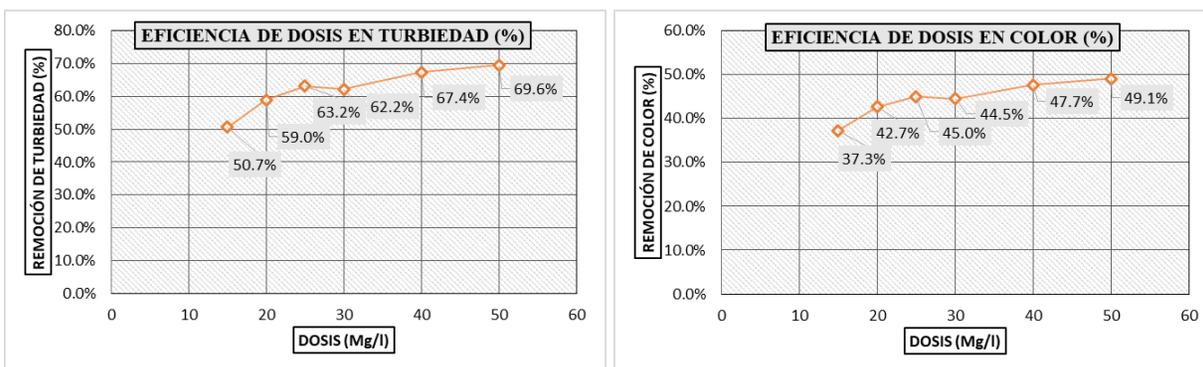
Determinación de la Eficiencia de la Dosis						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6

Turbidez de entrada (UNT)	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70
Color aparente entrada (Pt/Co)	220	220	220	220	220	220
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	15	20	25	30	40	50
Turbidez de salida (UNT)	24.5	20.4	18.3	18.8	16.2	15.1
Color aparente salida (Pt/Co)	138	126	121	122	115	112
Eficiencia en turbiedad (%)	50.7	59.0	63.2	62.2	67.4	69.6
Eficiencia en color aparente (%)	32.3	42.7	45.0	44.5	47.7	49.1

Para un mejor análisis y entendimiento de la eficiencia del almidón de trigo en la remoción turbiedad y color aparente del agua en estudio se muestra la siguiente figura.

Figura 35

Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (1)



De la figura anterior se puede afirmar que la dosis de almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la de 50 mg/l, logrando una eficiencia máxima 69.6 % y 49.1 % respectivamente.

➤ **Determinación de la eficiencia de la concentración del coagulante.**

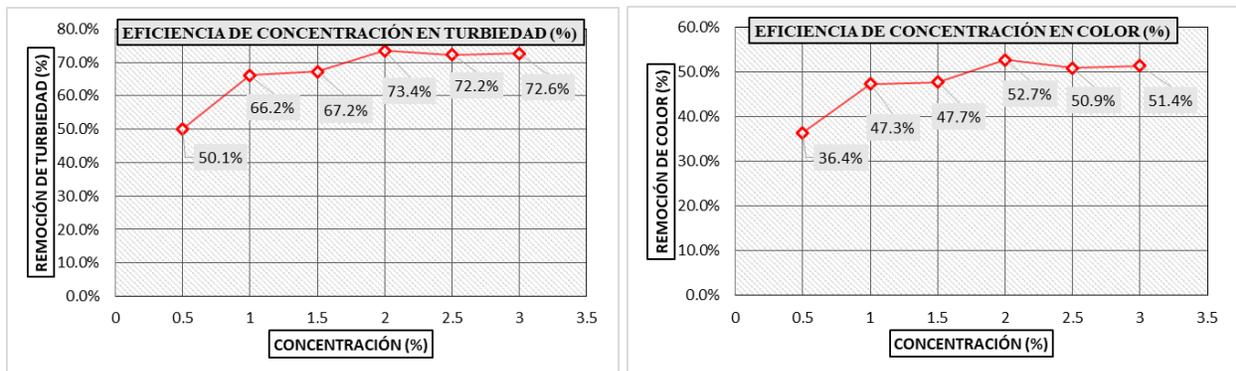
Tabla 15

Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (1)

Determinación de la Eficiencia de la Concertación						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70
Color aparente entrada (Pt/Co)	220	220	220	220	220	220
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Dosis equivalente(ml/l)	20	10	6.67	5	4	3.33
Turbidez de salida (UNT)	24.8	16.8	16.3	13.2	13.8	13.6
Color aparente salida (Pt/Co)	140	116	115	104	108	107
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	<i>50.1</i>	<i>66.2</i>	<i>67.2</i>	<i>73.4</i>	<i>72.2</i>	<i>72.6</i>
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	<i>36.4</i>	<i>47.3</i>	<i>47.7</i>	<i>52.7</i>	<i>50.9</i>	<i>51.4</i>

Figura 36

Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(1)

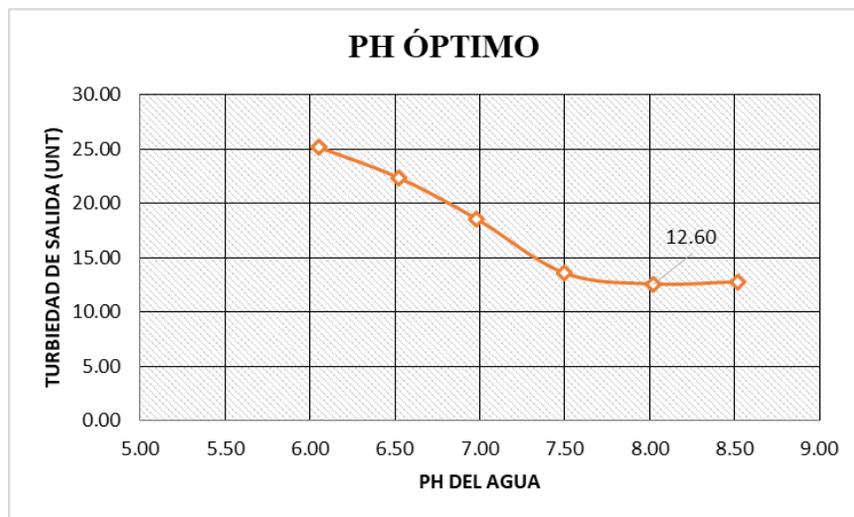


De la figura anterior se puede afirmar que la concentración del almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la del 2 %, logrando una eficiencia máxima de 73.4 % - 52.7 % respectivamente.

- **Determinación del mejor PH para la muestra.**

Tabla 16*PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (1)*

Determinación del Mejor PH						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	2	2	2	2	2	2
Dosis equivalente(ml/l)	5	5	5	5	5	5
PH	6.05	6.52	6.98	7.50	8.02	8.52
<i>Turbidez de salida (UNT)</i>	<i>25.2</i>	<i>22.4</i>	<i>18.6</i>	<i>13.6</i>	<i>12.6</i>	<i>12.8</i>
<i>Color aparente salida (Pt/Co)</i>	<i>142</i>	<i>132</i>	<i>120</i>	<i>106</i>	<i>102</i>	<i>103</i>

Figura 37*PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (1)*

De la figura y tabla anterior se puede afirmar que en un agua con PH de 8.02 (básico) se produce el mejor proceso de coagulación-floculación, logrando una turbiedad y color aparente a la salida de 12.6 UNT y 102 Pt/Co respectivamente.

➤ **Determinación de los parámetros de floculación.**

Tabla 17

Parámetros de Floculación (1)

Gradiente (S^{-1})	Velocidad (RPM)	Tiempo de Floculación (min)					
		5	10	15	20	25	30
G=20	30	30.2	26.4	21.5	16.4	14.2	14.8
G=40	50	29.4	24.6	20.3	15.8	13.6	12.8
G=60	65	27.8	24.2	18.2	13.6	12.5	12.9
G=80	75	27.2	23.5	18.6	14.2	13.2	13

Figura 38

Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (1)

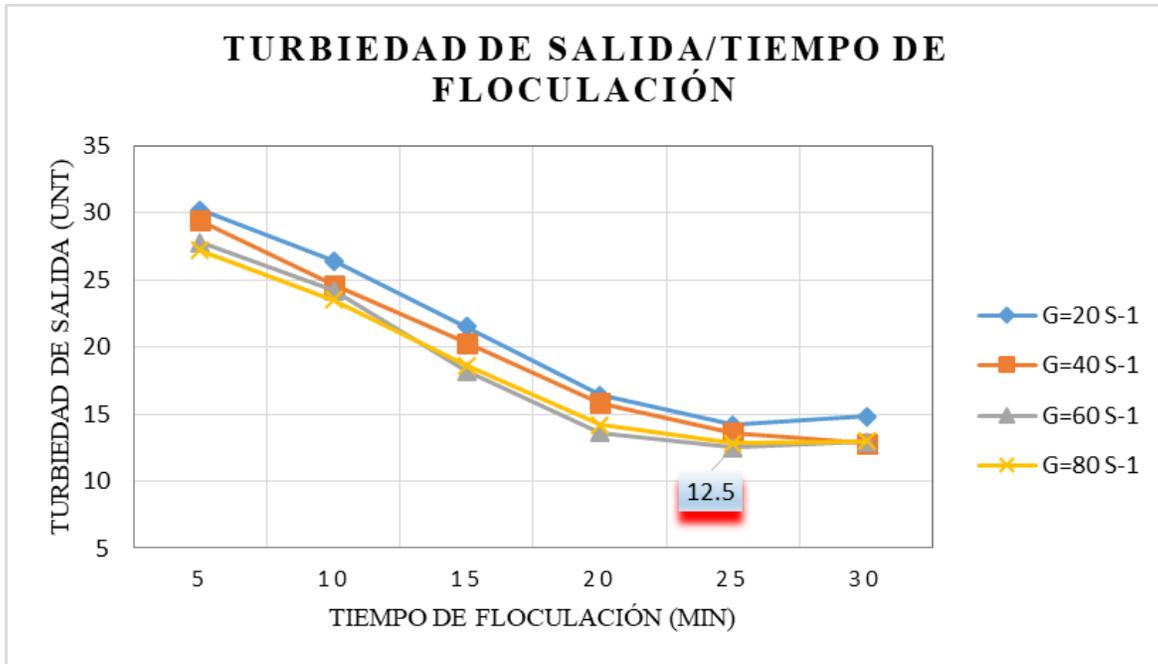
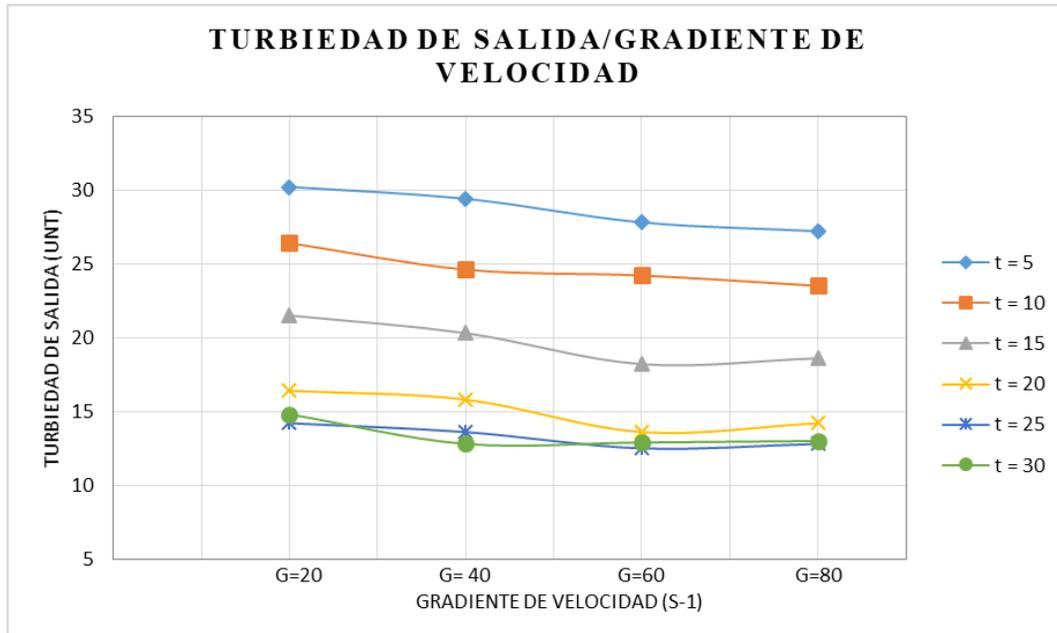


Figura 39

Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (1)



En la figura 38 se puede identificar que la curva más baja corresponde a la G=60 S⁻¹, donde se aprecia que el proceso que brinda la mayor remoción de turbiedad es para un tiempo de floculación de 25 minutos.

En la figura 39 se aprecia los puntos de máxima remoción para cada uno de los tiempos, obteniendo los gradientes de velocidad con cada uno de los tiempos en el que proceso se optimiza, así como se indica en la siguiente tabla.

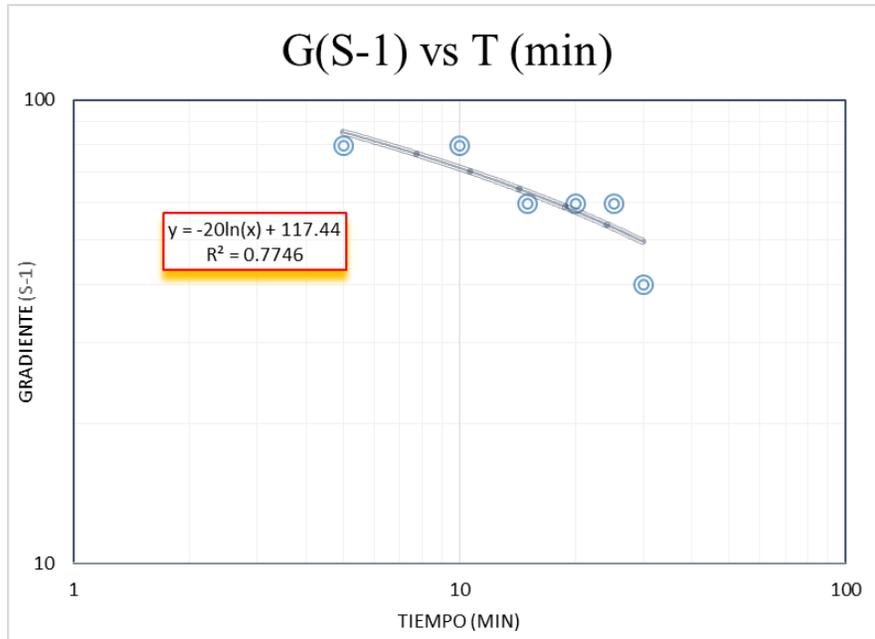
Tabla 18

Tiempos de Floculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (1)

Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (S ⁻¹)	80	80	60	60	60	40

Figura 40

Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (1)



La ecuación de la figura 40 permite determinar los gradientes de velocidad en cada tramo.

4.2.2. Segunda prueba.

Para determinar la mejor dosis y concentración del almidón en estudio se muestra las características del agua natural y parámetros a considerar, esto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 19

Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (2)

Agua Natural	Mezcla Rápida	Mezcla Lenta	Sedimentación(reposo)
Turbiedad Inicial (UNT): 50.20	Velocidad (RPM): 300	Velocidad (RPM): 40	Tiempo (min): 15
PH: 7.54	Tiempo (s): 5	Tiempo (min): 20	
Temperatura (°C): 14.7			
Color Aparente: 225			

➤ **Determinación de la eficiencia de la dosis del coagulante.**

Tabla 20

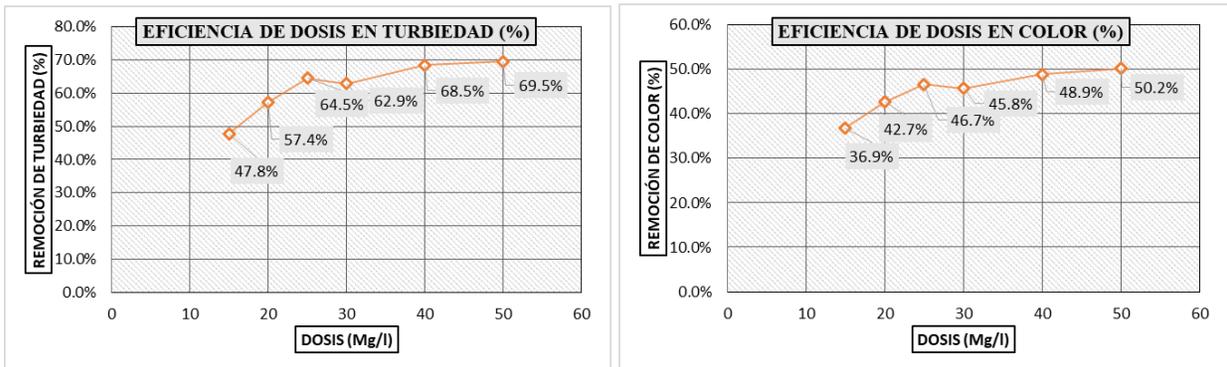
Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (2)

Determinación de la Eficiencia de la Dosis						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	50.20	50.20	50.20	50.20	50.20	50.20
Color aparente entrada (Pt/Co)	225	225	225	225	225	225
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	15	20	25	30	40	50
Turbidez de salida (UNT)	26.2	21.4	17.8	18.6	15.8	15.3
Color aparente salida (Pt/Co)	142	129	120	122	115	112
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	47.8	57.4	64.5	62.9	68.5	69.5
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	36.9	42.7	46.7	45.8	48.9	50.2

Para un mejor análisis y entendimiento de la eficiencia del almidón de trigo en la remoción turbiedad y color aparente del agua en estudio se muestra la siguiente figura.

Figura 41

Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (2)



De la figura anterior se puede afirmar que la dosis de almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la de 50 mg/l, logrando una eficiencia máxima 69.5 % y 50.2 % respectivamente.

➤ **Determinación de la eficiencia de la concentración del coagulante.**

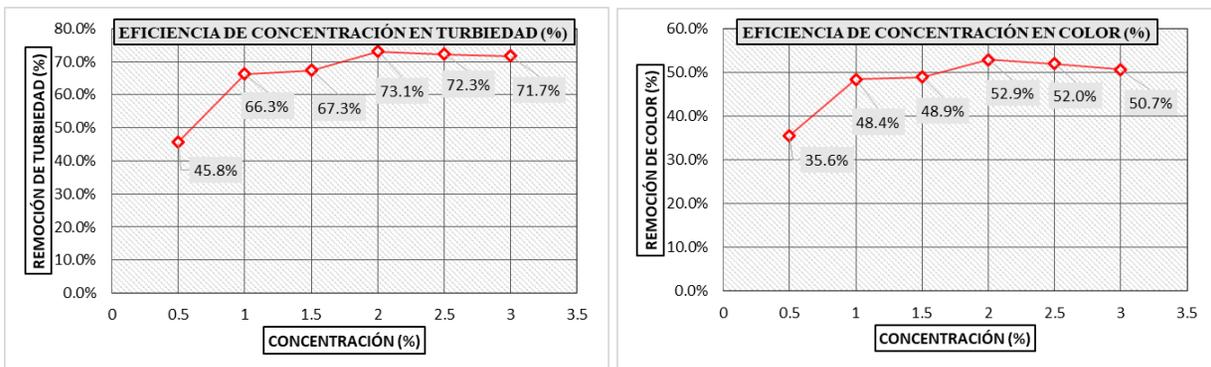
Tabla 21

Concentración del Coagulante y su eficiencia en el Ensayo (2)

Determinación de la Eficiencia de la Concertación						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	50.20	50.20	50.20	50.20	50.20	50.20
Color aparente entrada (Pt/Co)	225	225	225	225	225	225
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Dosis equivalente(ml/l)	20	10	6.67	5	4	3.33
Turbidez de salida (UNT)	27.20	16.9	16.4	13.5	13.9	14.2
Color aparente salida (Pt/Co)	145	116	115	106	108	111
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	<i>45.8</i>	<i>66.3</i>	<i>67.3</i>	<i>73.1</i>	<i>72.3</i>	<i>71.7</i>
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	<i>35.6</i>	<i>48.4</i>	<i>48.9</i>	<i>52.9</i>	<i>52.0</i>	<i>50.7</i>

Figura 42

Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(2)



De la figura anterior se puede afirmar que la concentración del almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la del 2 %, logrando una eficiencia máxima de 73.1 % - 52.9 % respectivamente.

➤ **Determinación del mejor PH para la muestra.**

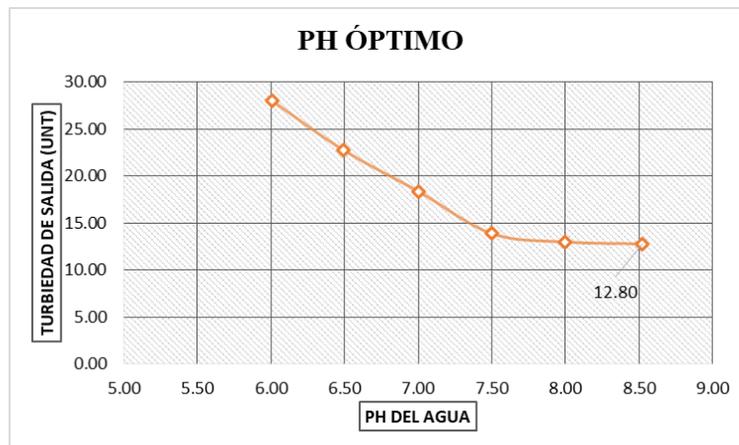
Tabla 22

PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (2)

Determinación del Mejor PH						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	50.20	50.20	50.20	50.20	50.20	50.20
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	2	2	2	2	2	2
Dosis equivalente(ml/l)	5	5	5	5	5	5
PH	6.01	6.49	7.00	7.50	8.00	8.52
<i>Turbidez de salida (UNT)</i>	<i>28.0</i>	<i>22.8</i>	<i>18.4</i>	<i>13.9</i>	<i>13.0</i>	<i>12.8</i>
<i>Color aparente salida (Pt/Co)</i>	<i>147</i>	<i>131</i>	<i>121</i>	<i>108</i>	<i>105</i>	<i>103</i>

Figura 43

PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (2)



De la figura y tabla anterior se puede afirmar que en un agua con PH de 8.52 (básico) se produce el mejor proceso de coagulación-floculación, logrando una turbiedad y color aparente final de 12.8 UNT y 103 Pt/Co respectivamente.

➤ **Determinación de los parámetros de floculación.**

Tabla 23

Parámetros de Floculación (2)

Gradiente (S^{-1})	Velocidad (RPM)	Tiempo de Floculación (min)					
		5	10	15	20	25	30
G=20	30	31.5	26.6	21.8	17.4	14.6	15
G=40	50	30.2	25.4	18.5	14.5	13.2	13.5
G=60	65	28.9	23.2	16.5	14.9	13.4	13.6
G=80	75	27.5	23.5	17.2	14.8	13.5	13.8

Figura 44

Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (2)

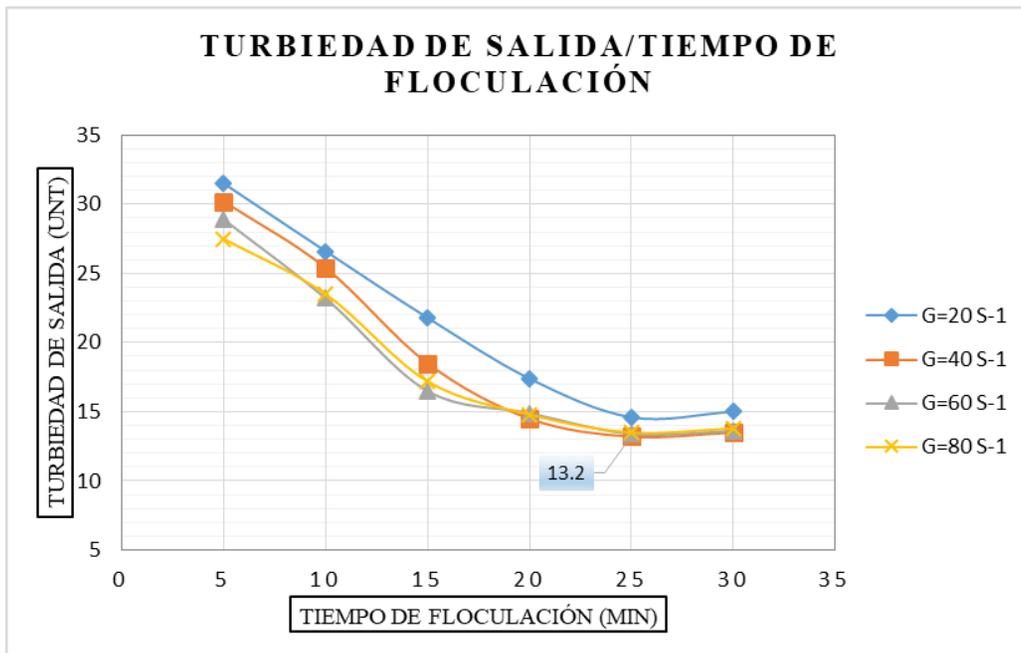
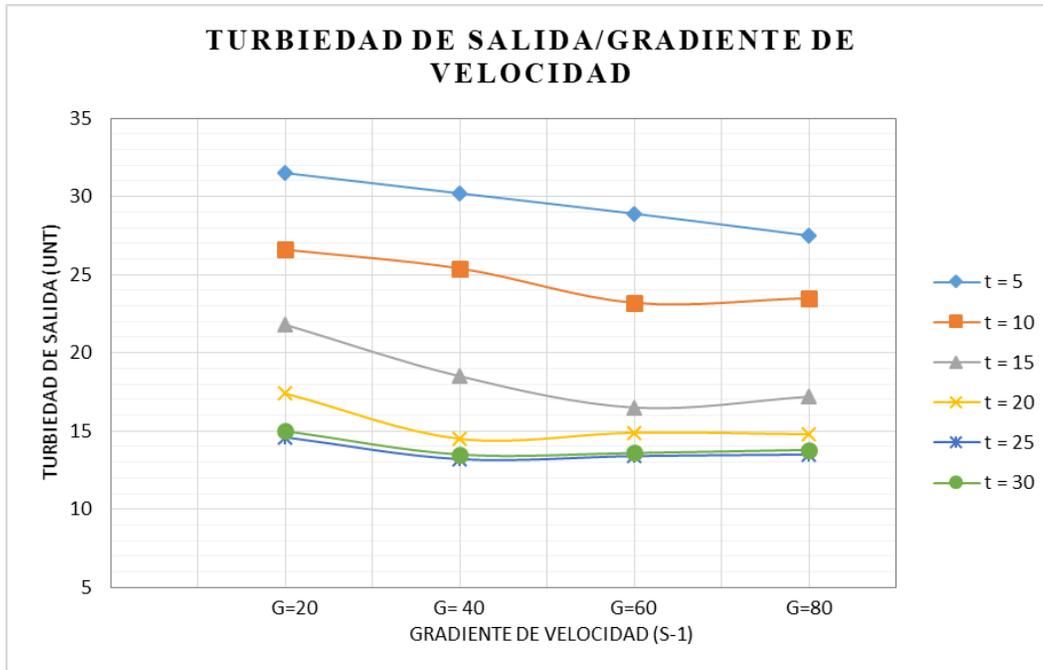


Figura 45

Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (2)



En la figura 44 se puede identificar que la curva más baja corresponde a la G=40 S-1, donde se aprecia que el proceso que brinda la mayor remoción de turbiedad es para un tiempo de floculación de 25 minutos.

En la figura 45 se aprecia los puntos de máxima remoción para cada uno de los tiempos, obteniendo los gradientes de velocidad con cada uno de los tiempos en el que proceso se optimiza, así como se indica en la siguiente tabla.

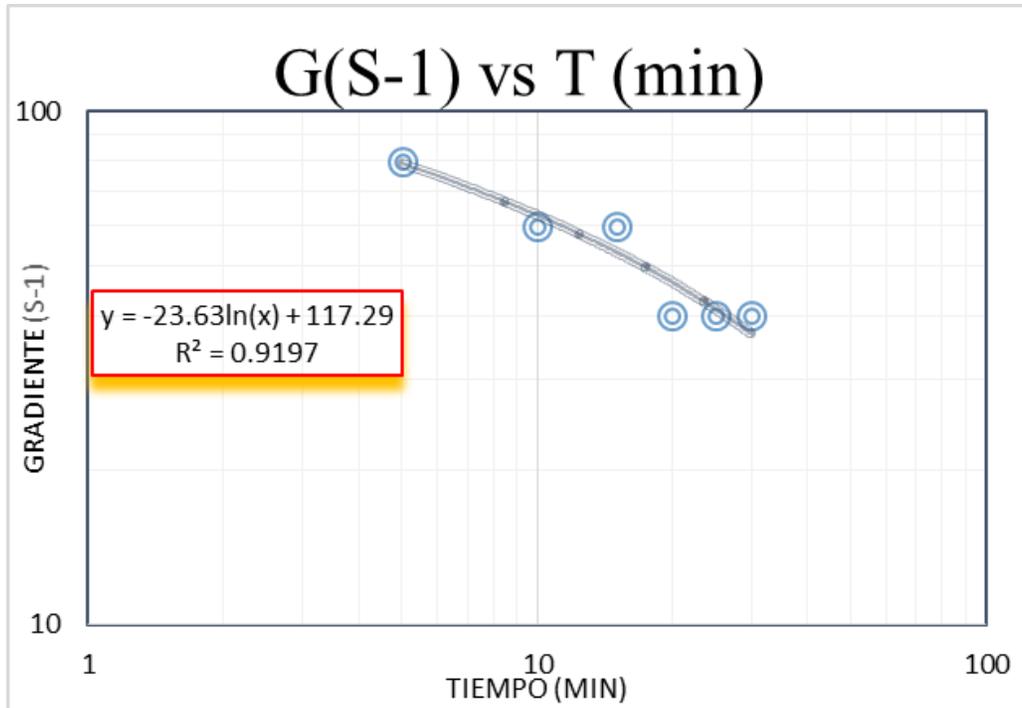
Tabla 24

Tiempos de Floculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (2)

Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (S^{-1})	80	60	60	40	40	40

Figura 46

Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (2)



Con la ecuación de la figura 46 podremos determinar los gradientes de velocidad en cada tramo.

4.2.3. Tercera prueba

Tabla 25

Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (3)

Agua Natural	Mezcla Rápida	Mezcla Lenta	Sedimentación(reposo)
Turbiedad Inicial (UNT): 47.80	Velocidad (RPM): 300	Velocidad (RPM): 40	Tiempo (min): 15
PH: 7.55	Tiempo (s): 5	Tiempo (min): 20	
Temperatura (°C): 14.40			
Color Aparente: 216			

➤ **Determinación de la eficiencia de la dosis de coagulante.**

Tabla 26

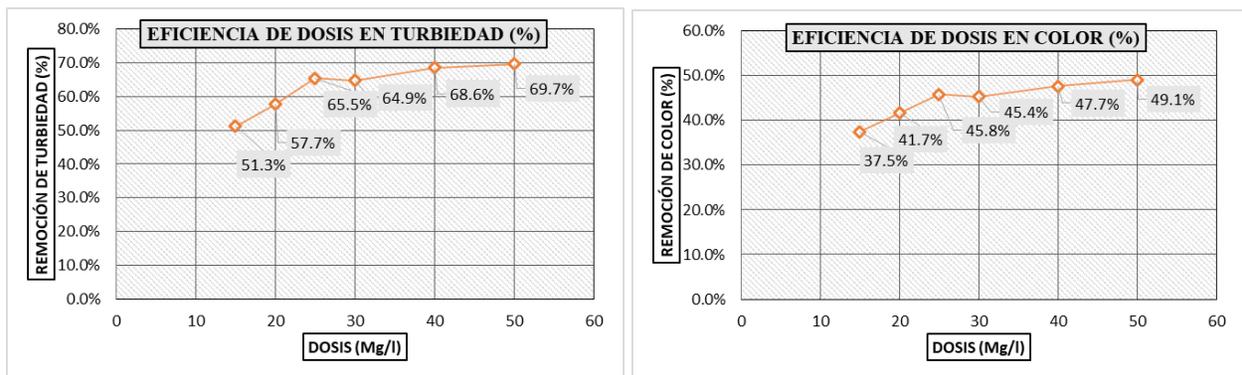
Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (3)

Determinación de la Eficiencia de la Dosis						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80
Color aparente entrada (Pt/Co)	216	216	216	216	216	216
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	15	20	25	30	40	50
Turbidez de salida (UNT)	23.3	20.2	16.5	16.8	15.0	14.5
Color aparente salida (Pt/Co)	135	126	117	118	113	110
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	<i>51.3</i>	<i>57.7</i>	<i>65.5</i>	<i>64.9</i>	<i>68.6</i>	<i>69.7</i>
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	<i>37.5</i>	<i>41.7</i>	<i>45.8</i>	<i>45.4</i>	<i>47.7</i>	<i>49.1</i>

Para un mejor análisis y entendimiento de la eficiencia del almidón de trigo en la remoción turbiedad y color aparente del agua en estudio se muestra la siguiente figura.

Figura 47

Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (3)



De la figura anterior se puede afirmar que la dosis de almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la de 50 mg/l, logrando una eficiencia máxima de 69.7 % y 49.1 % respectivamente.

➤ **Determinación de la eficiencia de la concentración del coagulante.**

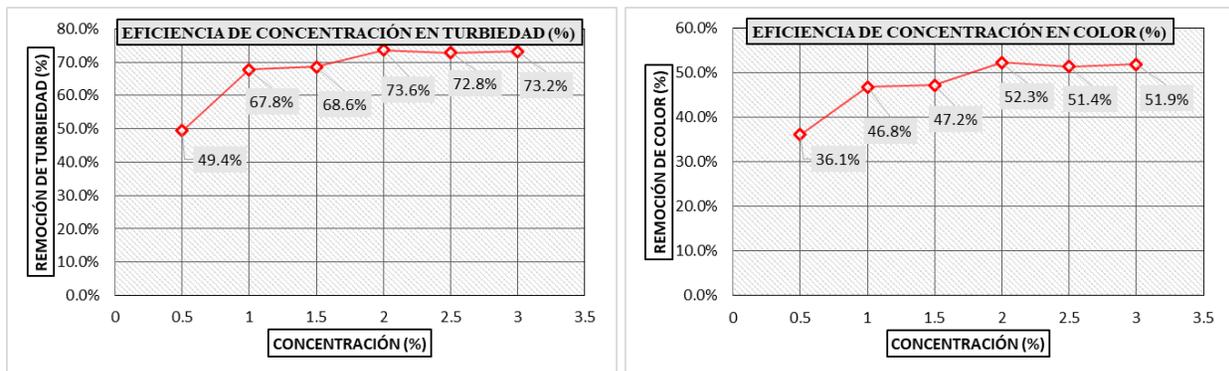
Tabla 27

Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (3)

Determinación de la Eficiencia de la Concertación						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80
Color aparente entrada (Pt/Co)	216	216	216	216	216	216
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
<i>Turbidez de salida (UNT)</i>	<i>24.4</i>	<i>15.4</i>	<i>15.0</i>	<i>12.6</i>	<i>13.0</i>	<i>12.8</i>
<i>Color aparente salida (Pt/Co)</i>	<i>138</i>	<i>115</i>	<i>114</i>	<i>103</i>	<i>105</i>	<i>104</i>
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	<i>49.4</i>	<i>67.8</i>	<i>68.6</i>	<i>73.6</i>	<i>72.8</i>	<i>73.2</i>
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	<i>36.1</i>	<i>46.8</i>	<i>47.2</i>	<i>52.3</i>	<i>51.4</i>	<i>51.9</i>

Figura 48

Eficiencia de la concentración del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(3)



De la figura anterior se puede afirmar que la concentración del almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la del 2 %, logrando una eficiencia máxima de 73.6 % y 52.7 % respectivamente.

➤ **Determinación del mejor PH para la muestra.**

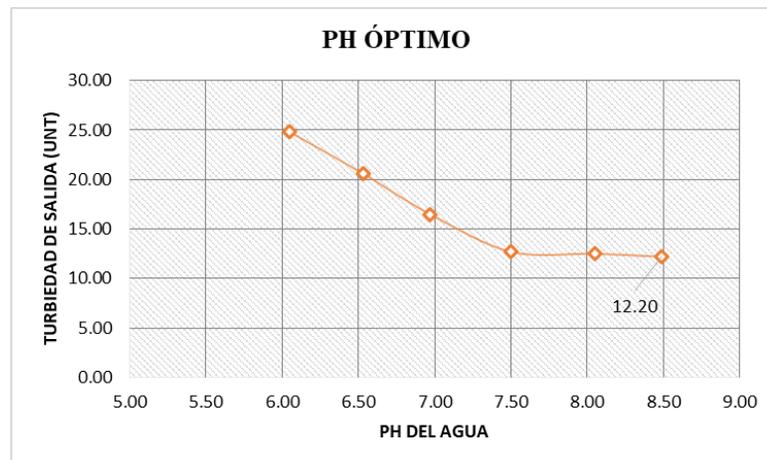
Tabla 28

PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (3)

Determinación del Mejor PH						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	2	2	2	2	2	2
Dosis equivalente(ml/l)	5	5	5	5	5	5
PH	6.05	6.53	6.97	7.50	8.05	8.49
<i>Turbidez de salida (UNT)</i>	<i>24.8</i>	<i>20.6</i>	<i>16.5</i>	<i>12.7</i>	<i>12.5</i>	<i>12.2</i>
<i>Color aparente salida (Pt/Co)</i>	<i>140</i>	<i>128</i>	<i>114</i>	<i>105</i>	<i>102</i>	<i>100</i>

Figura 49

PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (3)



De la figura y tabla anterior se puede afirmar que en un agua con PH de 8.49 (básico) se produce el mejor proceso de coagulación-floculación, logrando una turbiedad y color aparente a la salida de 12.2 UNT y 100 Pt/Co respectivamente.

➤ **Determinación de los parámetros de floculación.**

Tabla 29

Parámetros de Floculación (3)

Gradiente (S^{-1})	Velocidad (RPM)	Tiempo de Floculación (min)					
		5	10	15	20	25	30
G=20	30	26.8	24.6	20.5	15.8	14	14.2
G=40	50	26.2	24.2	17.6	14.2	13	13.2
G=60	65	25.8	22.5	16.2	12.8	13.2	13.4
G=80	75	25.2	22.8	16.4	13.2	13.5	13.6

Figura 50

Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (3)

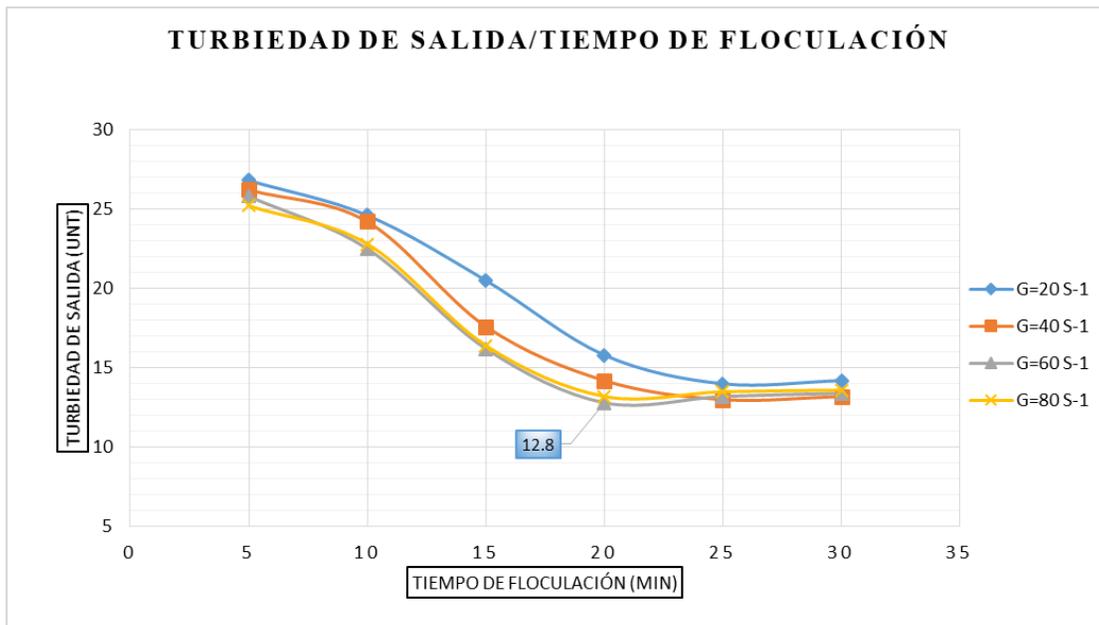
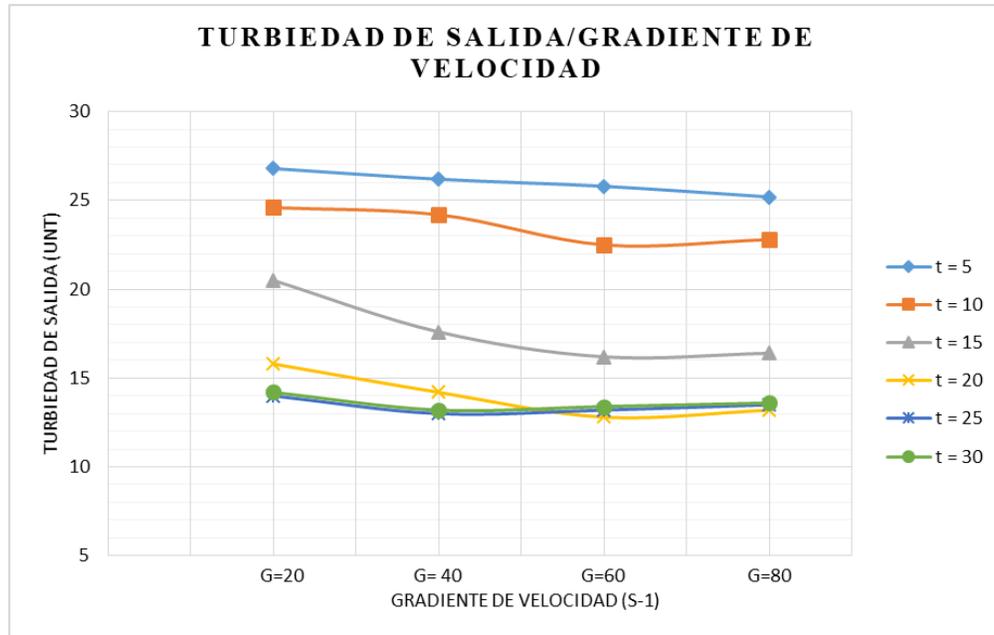


Figura 51

Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (3)



En la figura 50 se puede identificar que la curva más baja corresponde a la G=60 S-1, donde se aprecia que el proceso que brinda la mayor remoción de turbiedad es para un tiempo de floculación de 20 minutos.

En la figura 51 se aprecia los puntos de máxima remoción para cada uno de los tiempos, obteniendo los gradientes de velocidad con cada uno de los tiempos en el que proceso se optimiza, así como se indica en la siguiente tabla.

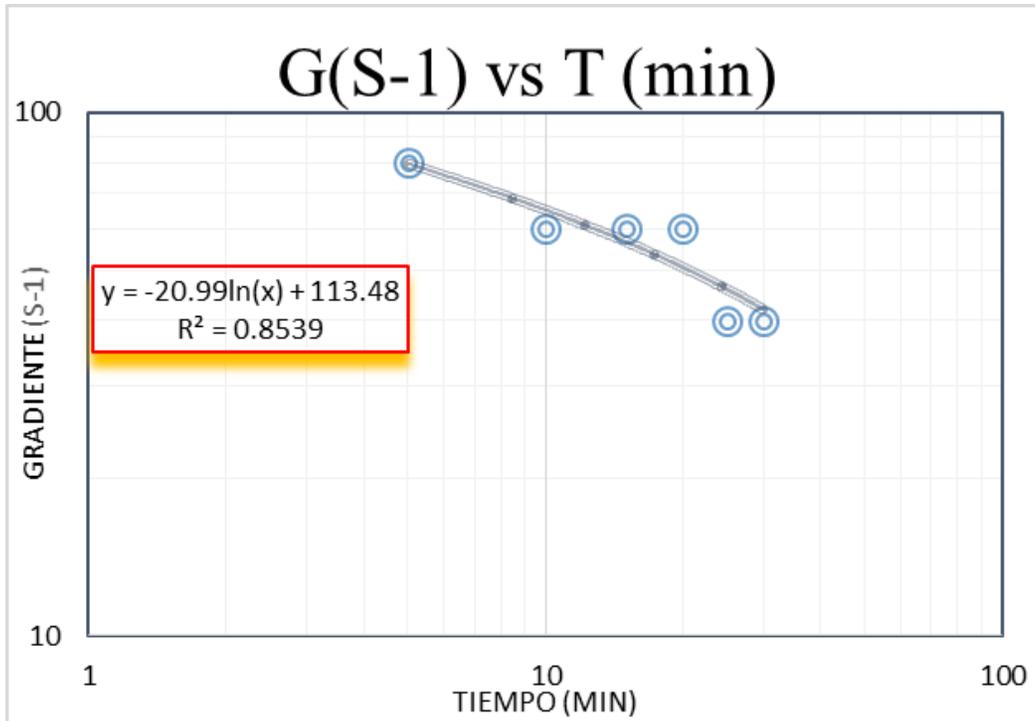
Tabla 30

Tiempos de Floculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (3)

Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (S^{-1})	80	60	60	60	40	40

Figura 52

Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (3)



Con la ecuación de la figura 52 podremos determinar los gradientes de velocidad en cada tramo.

4.2.4. Cuarta prueba.

Tabla 31

Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (4)

Agua Natural	Mezcla Rápida	Mezcla Lenta	Sedimentación(reposo)
Turbiedad Inicial (UNT): 44.6	Velocidad (RPM): 300	Velocidad (RPM): 40	Tiempo (min): 15
PH: 7.52	Tiempo (s): 5	Tiempo (min): 20	
Temperatura (°C): 15.3			
Color Aparente: 212			

➤ **Determinación de la eficiencia de la dosis de coagulante.**

Tabla 32

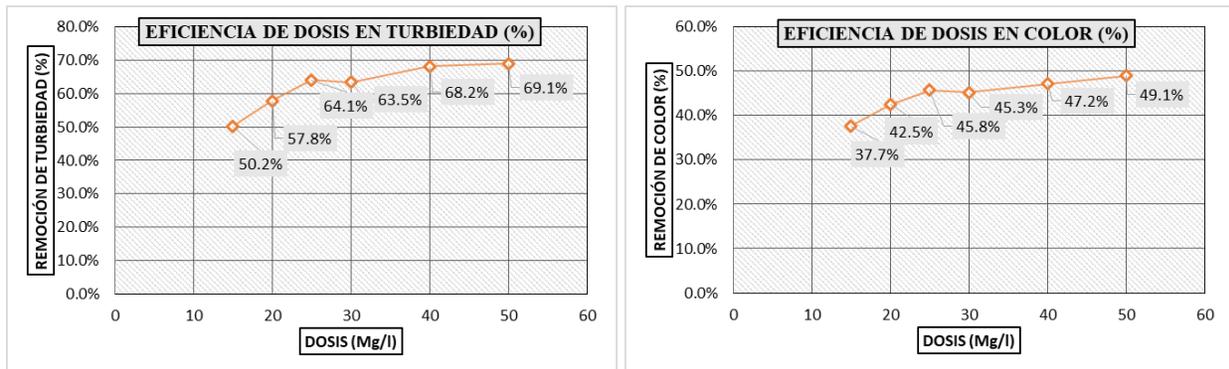
Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (4)

Determinación de la Eficiencia de la Dosis						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	44.60	44.60	44.60	44.60	44.60	44.60
Color aparente entrada (Pt/Co)	212	212	212	212	212	212
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	15	20	25	30	40	50
Turbidez de salida (UNT)	22.2	18.8	16.0	16.3	14.2	13.8
Color aparente salida (Pt/Co)	132	122	115	116	112	108
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	<i>50.2</i>	<i>57.8</i>	<i>64.1</i>	<i>63.5</i>	<i>68.2</i>	<i>69.1</i>
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	<i>37.7</i>	<i>42.5</i>	<i>45.8</i>	<i>45.3</i>	<i>47.2</i>	<i>49.1</i>

Para un mejor análisis y entendimiento de la eficiencia del almidón de trigo en la remoción turbiedad y color aparente del agua en estudio se muestra la siguiente figura.

Figura 53

Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (4)



De la figura anterior se puede afirmar que la dosis de almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la de 50 mg/l, logrando una eficiencia máxima de 69.1 % y 49.1 % respectivamente.

➤ **Determinación de la eficiencia de la concentración del coagulante.**

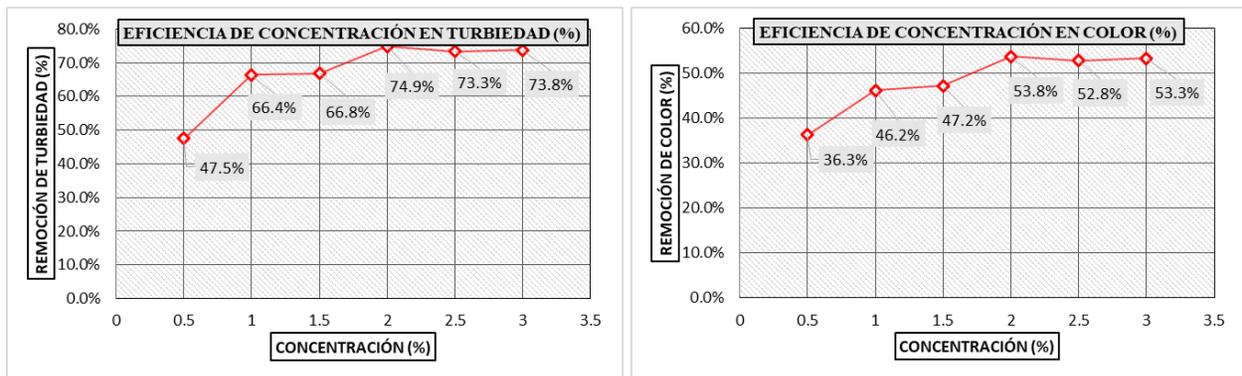
Tabla 33

Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (4)

Determinación de la Eficiencia de la Concertación						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	44.60	44.60	44.60	44.60	44.60	44.60
Color aparente entrada (Pt/Co)	212	212	212	212	212	212
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Turbidez de salida (UNT)	23.4	15.0	14.8	11.2	11.9	11.7
Color aparente salida (Pt/Co)	135	114	112	98.0	100	99.0
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	47.5	66.4	66.8	74.9	73.3	73.8
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	36.3	46.2	47.2	53.8	52.8	53.3

Figura 54

Eficiencia de la concentracion del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(4)



De la figura anterior se puede afirmar que la concentración del almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la del 2 %, logrando una eficiencia máxima de 74.9 % y 53.8 % respectivamente.

➤ **Determinación del mejor PH para la muestra.**

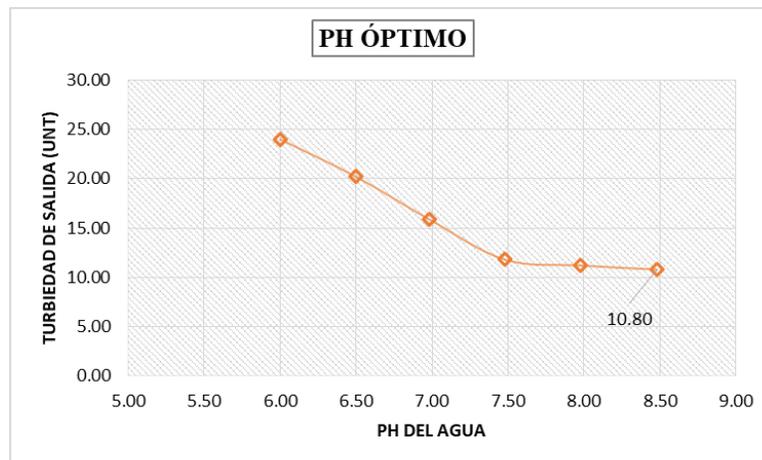
Tabla 34

PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (4)

Determinación del Mejor PH						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	44.60	44.60	44.60	44.60	44.60	44.60
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	2	2	2	2	2	2
Dosis equivalente(ml/l)	5	5	5	5	5	5
PH	6.00	6.50	6.98	7.48	7.98	8.48
<i>Turbidez de salida (UNT)</i>	<i>24.0</i>	<i>20.2</i>	<i>15.9</i>	<i>11.8</i>	<i>11.2</i>	<i>10.8</i>
<i>Color aparente salida (Pt/Co)</i>	<i>137</i>	<i>126</i>	<i>115</i>	<i>99.0</i>	<i>98.0</i>	<i>96.0</i>

Figura 55

PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (4)



De la figura y tabla anterior se puede afirmar que en un agua con PH de 8.48 (básico) se produce el mejor proceso de coagulación-floculación, logrando una turbiedad y color aparente a la salida de 10.8 UNT y 96 Pt/Co respectivamente.

➤ **Determinación de los parámetros de floculación.**

Tabla 35

Parámetros de Floculación (4)

Gradiente (S^{-1})	Velocidad (RPM)	Tiempo de Floculación (min)					
		5	10	15	20	25	30
G=20	30	24.5	22.4	17.8	14.9	13.3	13.6
G=40	50	24.2	21.8	16.5	13.2	12.2	12.5
G=60	65	23.8	20.8	15.4	11.9	12.3	12.8
G=80	75	23.2	20.3	15.8	12.3	12.5	13.0

Figura 56

Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (4)

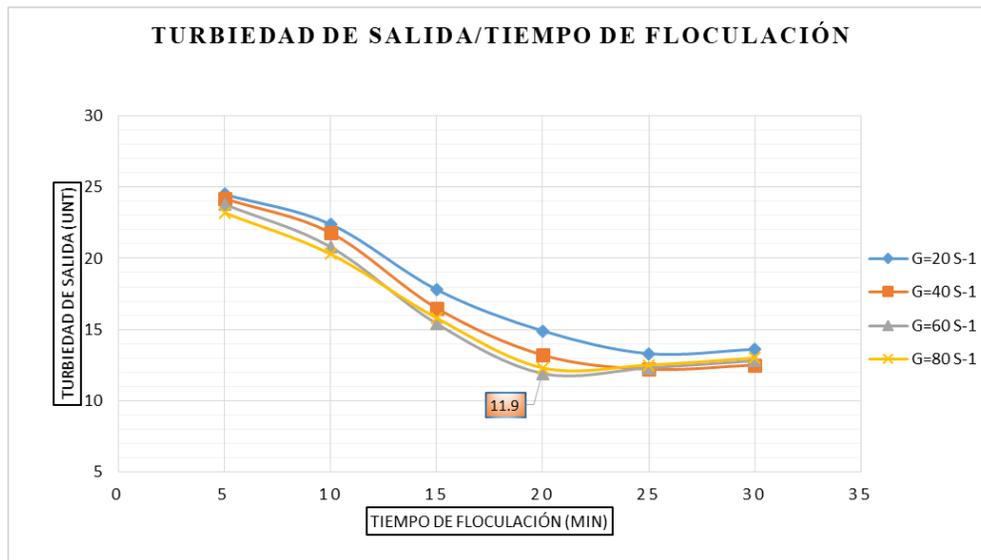
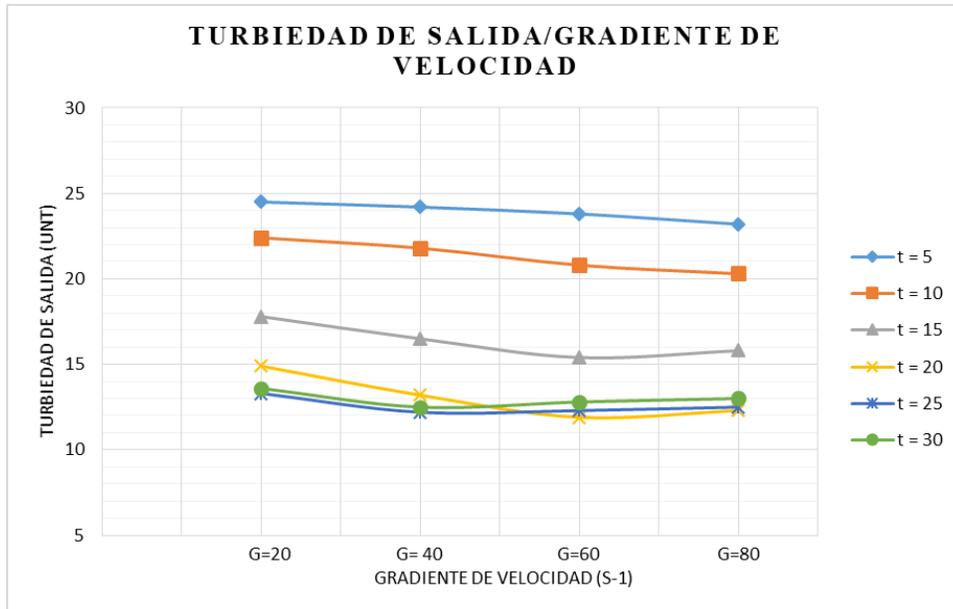


Figura 57

Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (4)



En la figura 56 se puede identificar que la curva más baja corresponde a la G=60 S-1, donde se aprecia que el proceso que brinda la mayor remoción de turbiedad es para un tiempo de floculación de 20 minutos.

En la figura 57 se aprecia los puntos de máxima remoción para cada uno de los tiempos, obteniendo los gradientes de velocidad con cada uno de los tiempos en el que proceso se optimiza, así como se indica en la siguiente tabla.

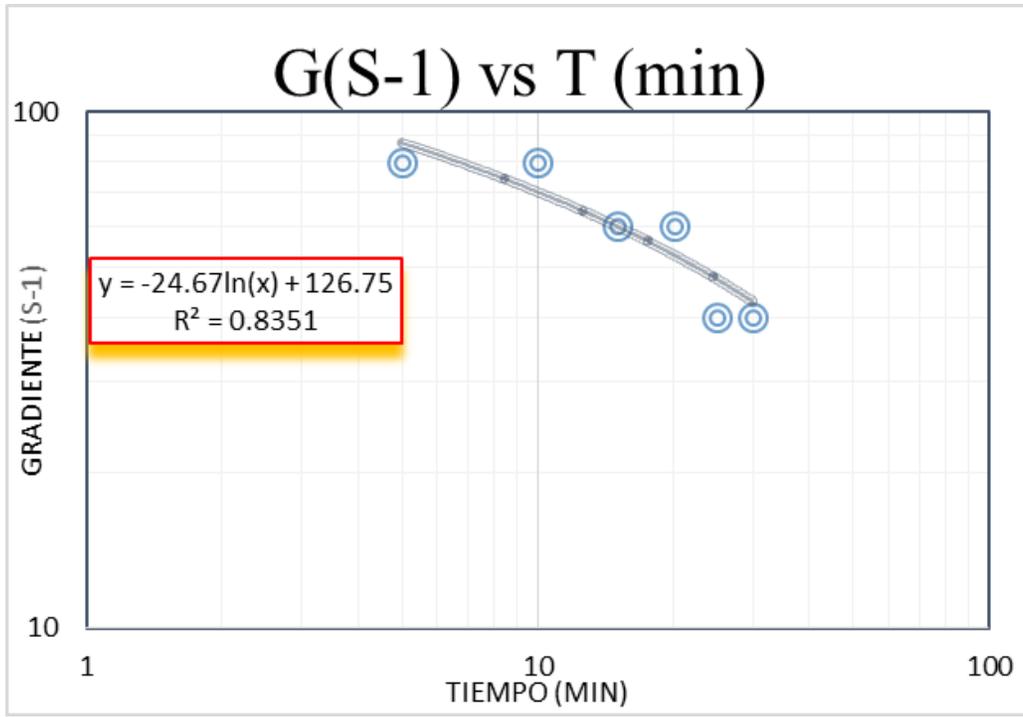
Tabla 36

Tiempos de Floculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (4)

Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (S^{-1})	80	80	60	60	40	40

Figura 58

Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (4)



Con la ecuación de la figura 58 podremos determinar los gradientes de velocidad en cada tramo.

4.2.5. Quinta prueba.

Tabla 37

Características de la Fuente y Parámetros de Ensayo (5)

Agua Natural	Mezcla Rápida	Mezcla Lenta	Sedimentación(reposo)
Turbiedad Inicial (UNT): 36.6	Velocidad (RPM): 300	Velocidad (RPM): 40	Tiempo (min): 15
PH: 7.60	Tiempo (s): 5	Tiempo (min): 20	
Temperatura (°C): 15.6			
Color Aparente: 198			

➤ **Determinación de la eficiencia de la dosis de coagulante.**

Tabla 38

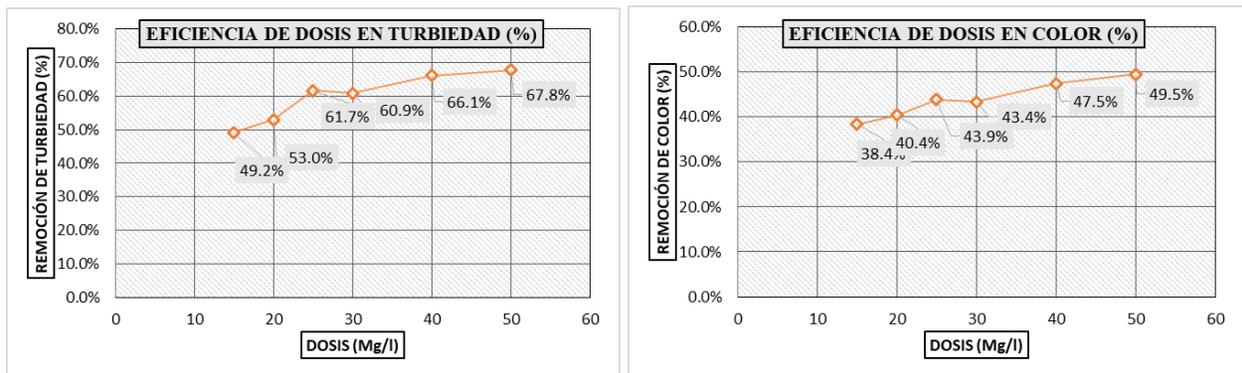
Dosis del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (5)

Determinación de la Eficiencia de la Dosis						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	36.60	36.60	36.60	36.60	36.60	36.60
Color aparente entrada (Pt/Co)	198	198	198	198	198	198
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	15	20	25	30	40	50
Turbidez de salida (UNT)	18.6	17.2	14.0	14.3	12.4	11.8
Color aparente salida (Pt/Co)	122	118	111	112	104	100
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	<i>49.2</i>	<i>53.0</i>	<i>61.7</i>	<i>60.9</i>	<i>66.1</i>	<i>67.8</i>
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	<i>38.4</i>	<i>40.4</i>	<i>43.9</i>	<i>43.4</i>	<i>47.5</i>	<i>49.5</i>

Para un mejor análisis y entendimiento de la eficiencia del almidón de trigo en la remoción turbiedad y color aparente del agua en estudio se muestra la siguiente figura.

Figura 59

Eficiencia de la Dosis de Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente (5)



De la figura anterior se puede afirmar que la dosis de almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la de 50 mg/l, logrando una eficiencia máxima de 67.8 % y 49.5 % respectivamente.

➤ **Determinación de la eficiencia de la concentración del coagulante.**

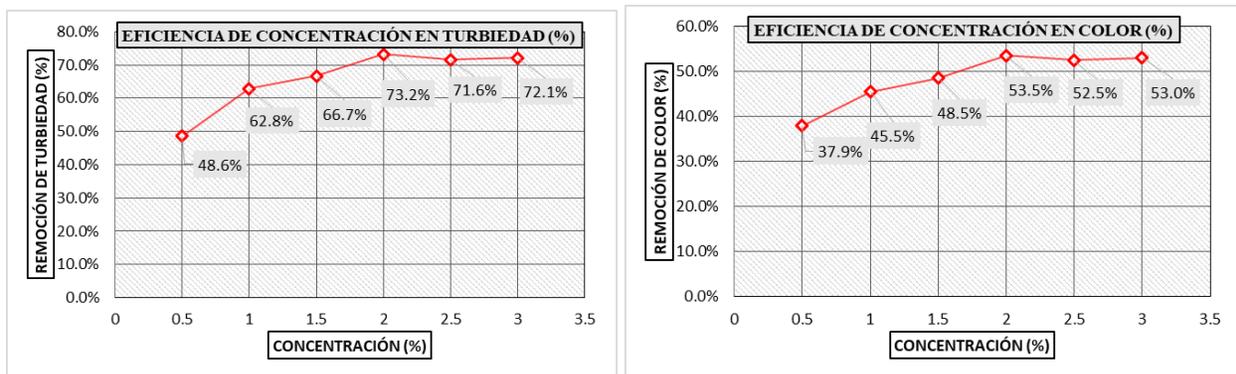
Tabla 39

Concentración del Coagulante y su Eficiencia en el Ensayo (5)

Determinación de la Eficiencia de la Concertación						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	36.60	36.60	36.60	36.60	36.60	36.60
Color aparente entrada (Pt/Co)	198	198	198	198	198	198
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Turbidez de salida (UNT)	18.8	13.6	12.2	9.80	10.4	10.2
Color aparente salida (Pt/Co)	123	108	102	92.0	94.0	93.0
<i>Eficiencia en turbiedad (%)</i>	<i>48.6</i>	<i>62.8</i>	<i>66.7</i>	<i>73.2</i>	<i>71.6</i>	<i>72.1</i>
<i>Eficiencia en color aparente (%)</i>	<i>37.9</i>	<i>45.5</i>	<i>48.5</i>	<i>53.5</i>	<i>52.5</i>	<i>53.0</i>

Figura 60

Eficiencia de la concentración del Almidón de Trigo en Remover Turbiedad y Color Aparente(5)



De la figura anterior se puede afirmar que la concentración del almidón de trigo que mejor remueve la turbiedad y color aparente es la del 2 %, logrando una eficiencia máxima de 73.2 % y 53.5% respectivamente.

➤ **Determinación del mejor PH para la muestra.**

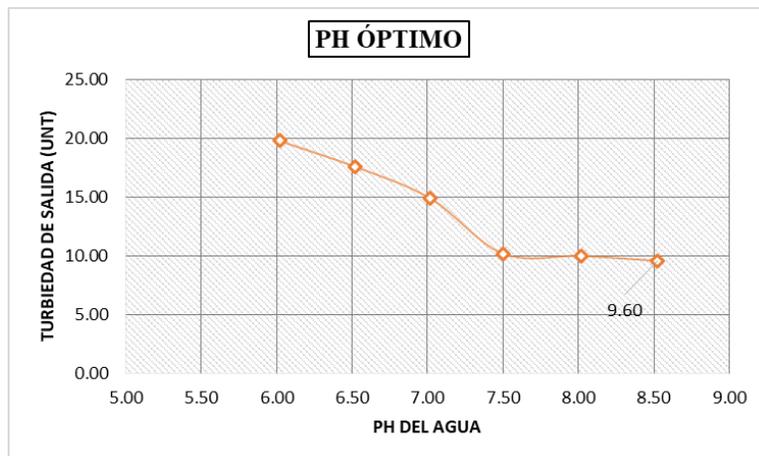
Tabla 40

PH del Agua de Mejor Resultado en el Ensayo (5)

Determinación del Mejor PH						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	6
Turbidez de entrada (UNT)	36.60	36.60	36.60	36.60	36.60	36.60
Volumen de jarra (ml)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Dosis de almidón (mg/l)	50	50	50	50	50	50
Concentración (%)	2	2	2	2	2	2
Dosis equivalente(ml/l)	5	5	5	5	5	5
PH	6.02	6.52	7.0	7.50	8.02	8.52
<i>Turbidez de salida (UNT)</i>	<i>19.8</i>	<i>17.6</i>	<i>14.9</i>	<i>10.2</i>	<i>10.0</i>	<i>9.6</i>
<i>Color aparente salida (Pt/Co)</i>	<i>125</i>	<i>120</i>	<i>113</i>	<i>93.0</i>	<i>92.0</i>	<i>90.0</i>

Figura 61

PH del Agua donde se Remueve Mejor la Turbiedad (5)



De la figura y tabla anterior se puede afirmar que en un agua con PH de 8.52 (básico) se produce el mejor proceso de coagulación-floculación, logrando una turbiedad y color aparente a la salida de 9.60 UNT y 90 Pt/Co respectivamente.

➤ **Determinación de los parámetros de floculación.**

Tabla 41

Parámetros de Floculación (5)

Gradiente (S^{-1})	Velocidad (RPM)	Tiempo de Floculación (min)					
		5	10	15	20	25	30
G=20	30	20.5	16.3	13.2	11.8	10.9	11.5
G=40	50	20.2	15.8	13.0	11.3	10.6	10.4
G=60	65	19.4	15.2	12.2	10.6	10.2	10.5
G=80	75	19	14.8	12.5	11.0	10.5	10.7

Figura 62

Turbiedad Final Vs Tiempo de Floculación (5)

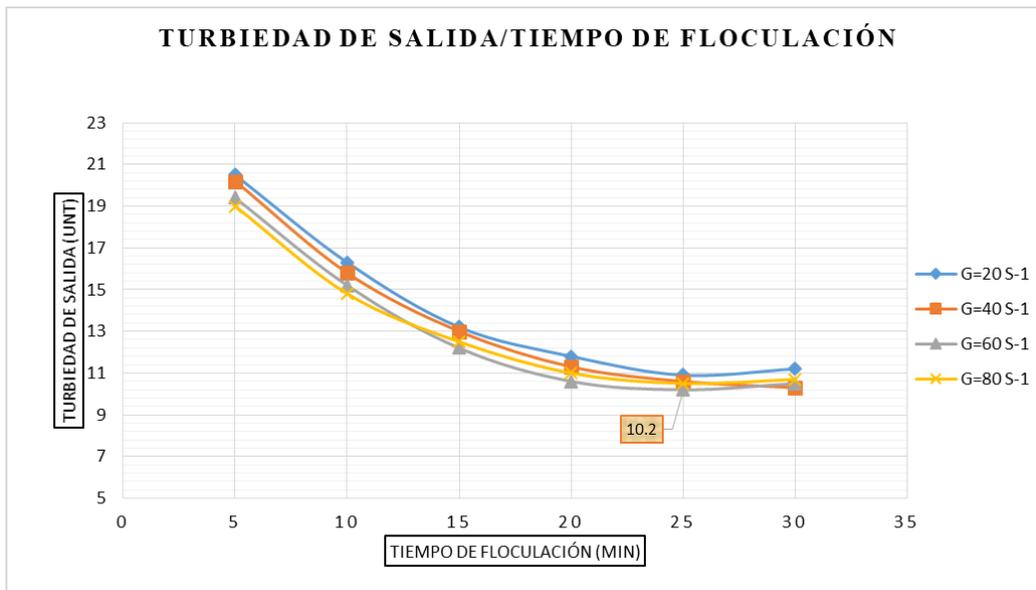
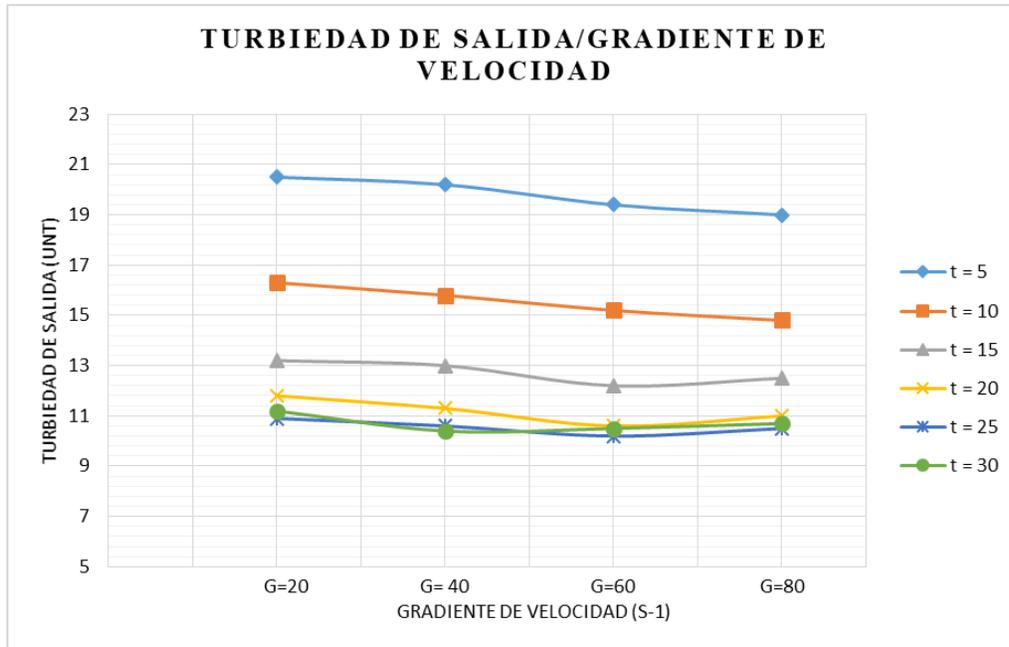


Figura 63

Turbiedad Final Vs Gradiente de Velocidad (5)



En la figura 62 se puede identificar que la curva más baja corresponde a la G=60 S-1, donde se aprecia que el proceso que brinda la mayor remoción de turbiedad es para un tiempo de floculación de 25 minutos.

En la figura 63 se aprecia los puntos de máxima remoción para cada uno de los tiempos, obteniendo los gradientes de velocidad con cada uno de los tiempos en el que proceso se optimiza, así como se indica en la siguiente tabla.

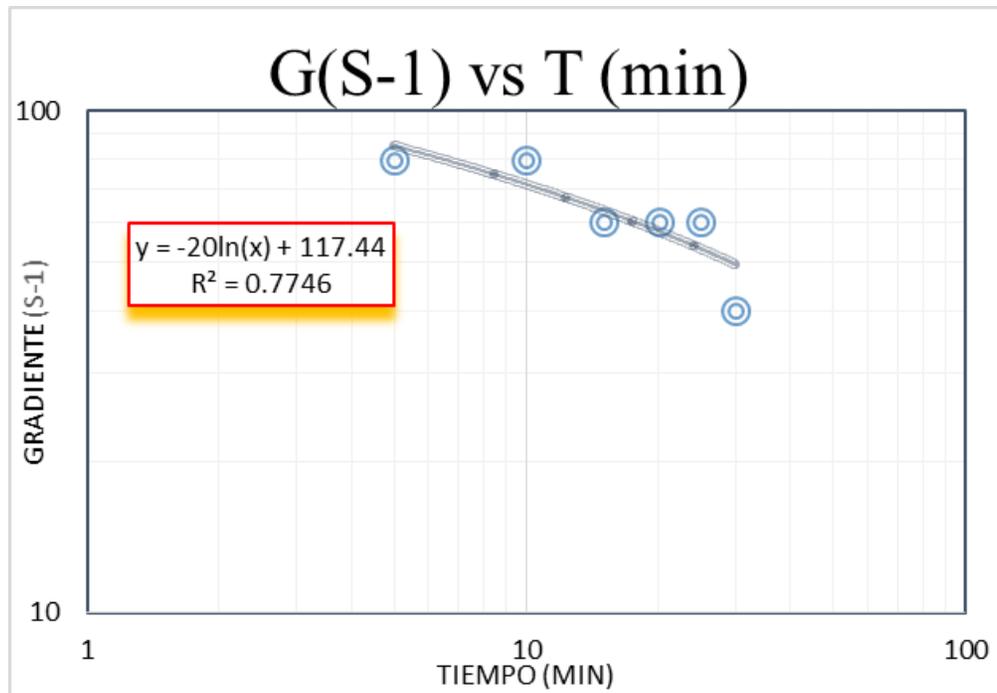
Tabla 42

Tiempos de Floculación con sus Gradientes de Velocidad Óptimos (5)

Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (S^{-1})	80	80	60	60	60	40

Figura 64

Correlación de Gradiente Vs Tiempo de primera prueba (5)



Con la ecuación de la figura 64 podremos determinar los gradientes de velocidad en cada tramo.

4.3. Resultados Físicoquímicos del Agua del Manantial la Quintilla.

El análisis físicoquímico del agua del manantial la Quintilla se realizó en el laboratorio regional de agua de la ciudad de Cajamarca, cada muestra se tomó de la entrada al pre-sedimentador del sistema de abastecimiento del distrito de Sucre, para ello se realizaron cinco muestreos y cinco análisis de: turbiedad, color verdadero, PH y sólidos totales disueltos, los cuales corroboran las características del agua natural (sin tratamiento) usada en los ensayos. Los resultados se muestran en el ANEXO 2.

4.4. Resultados de la Investigación.

4.4.1. Eficiencia del almidón de trigo en remoción de turbiedad.

Los resultados de la eficiencia del almidón de trigo para remover la turbiedad aplicando diferentes dosis a concertaciones variables, se muestra a continuación:

➤ **Dosis utilizadas y su eficiencia en la remoción de turbiedad.**

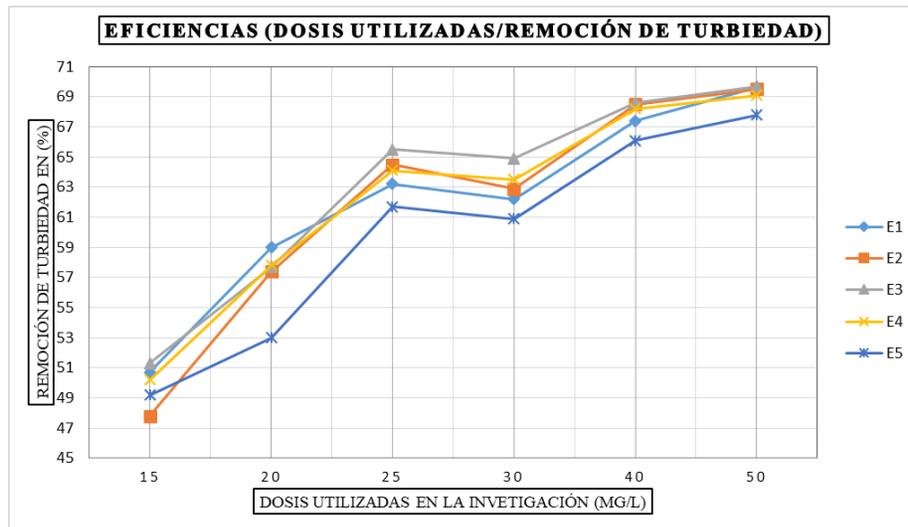
Tabla 43

Dosis Usadas y su Eficiencias en la Remoción de Turbiedad

Muestreo	Dosis utilizadas en la investigación (mg/l)					
	15	20	25	30	40	50
M1	50.7	59.0	63.2	62.2	67.4	69.6
M2	47.8	57.4	64.5	62.9	68.4	69.5
M3	51.3	57.7	65.5	64.9	68.6	69.7
M4	50.2	57.8	64.1	63.5	68.2	69.1
M5	49.2	53.0	61.7	60.9	66.1	67.8

Figura 65

Eficiencias de las Dosis Usadas en la Remoción de Turbiedad



De la tabla y figura anterior sobre la eficiencia de la dosis del almidón de trigo en la remoción de turbiedad, se llega a las siguientes conclusiones:

- ✓ Las eficiencias de las diferentes dosis utilizadas en la investigación tiene una tendencia lineal, ya que la mayor remoción de turbiedad se logra con una dosis de 50 mg/l y la menor con 15 mg/l.
- ✓ La dosis de mayor eficiencia en la remoción de turbiedad es la de 50 mg/l en todos los muestreos, logrando una eficiencia máxima de 69.7 % en el tercer muestreo y las más bajas se registran con 15 mg/l, logrando una eficiencia mínima de 47.8 % en el segundo muestreo.
- ✓ Para una dosis de 15 mg/l se logra una mayor eficiencia con la turbiedad menor y una menor eficiencia con la mayor turbiedad, registrando una eficiencia de remoción 49.2 % en el 5 muestreo y de 47.8 % en 2 muestreo.
- **Concentraciones utilizadas y su eficiencia en la remoción de turbiedad.**

Luego de haber determinado que la dosis con mayor remoción de turbiedad es la de 50 mg/l, se varió las concentraciones para evaluar sus eficiencias.

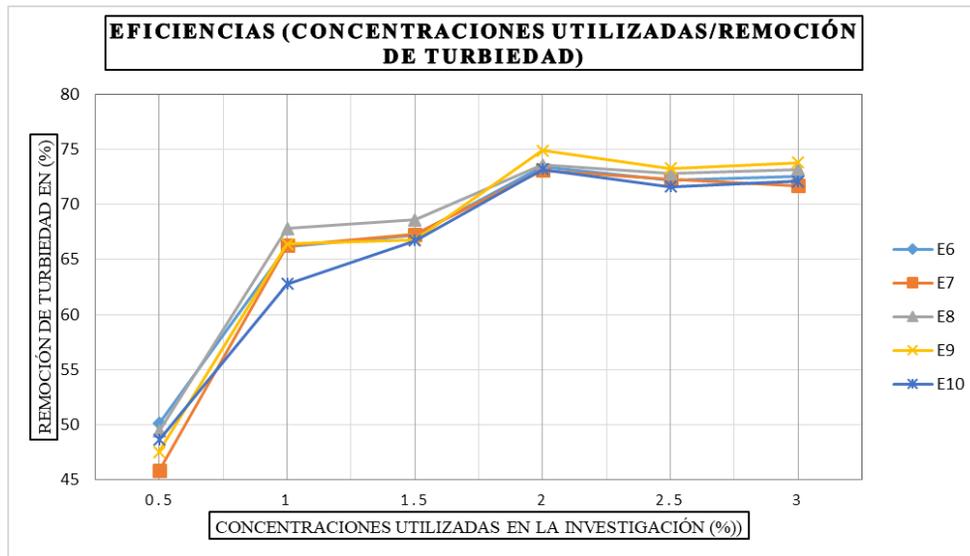
Tabla 44

Concentraciones Usadas y su Eficiencia en la Remoción de Turbiedad

Muestreo	Concentraciones utilizadas en la investigación (%)					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
M1	50.1	66.2	67.2	73.4	72.2	72.6
M2	45.8	66.3	67.3	73.1	72.3	71.7
M3	49.4	67.8	68.6	73.6	72.8	73.2
M4	47.5	66.4	66.8	74.9	73.3	73.8
M5	48.6	62.8	66.7	73.2	71.6	72.1

Figura 66

Eficiencias de las Contracciones Usadas en la Remoción de Turbiedad



De la tabla y figura anterior sobre la eficiencia de las concentraciones del almidón de trigo en la remoción de turbiedad, se llega a las siguientes conclusiones:

- ✓ Las eficiencias de la dosis de 50 mg/l a diferentes concentraciones tiene un comportamiento un tanto parabólico, logrando la mayor remoción de turbiedad a una concentración del 2 % y la mínima al 0.5 %.
- ✓ En todos los muestreos de la investigación la concentración con mayor eficiencia en la remoción de turbiedad es la de 2 %, logrando un máximo de 74.9 % en el cuarto muestreo y las menores se logran con una concentración de 0.5 %, registrando una eficiencia mínima de 45.8 % en el segundo muestreo.
- ✓ Para la concentración de 0.5 % se logra una mayor eficiencia con la turbiedad menor y una menor eficiencia con la mayor turbiedad, registrando una eficiencia de remoción de 48.6 % en el 5 muestreo y de 45.8 % y 47.5 % en el 2 y 4 muestreo.

4.4.2. Eficiencia del almidón de trigo en remoción de color.

COLOR APARENTE

Los resultados de la eficiencia del almidón de trigo para remover el color aparente aplicando diferentes dosis a concertaciones variables, se muestra la continuación:

- **Dosis utilizadas y su eficiencia en la remoción de color aparente.**

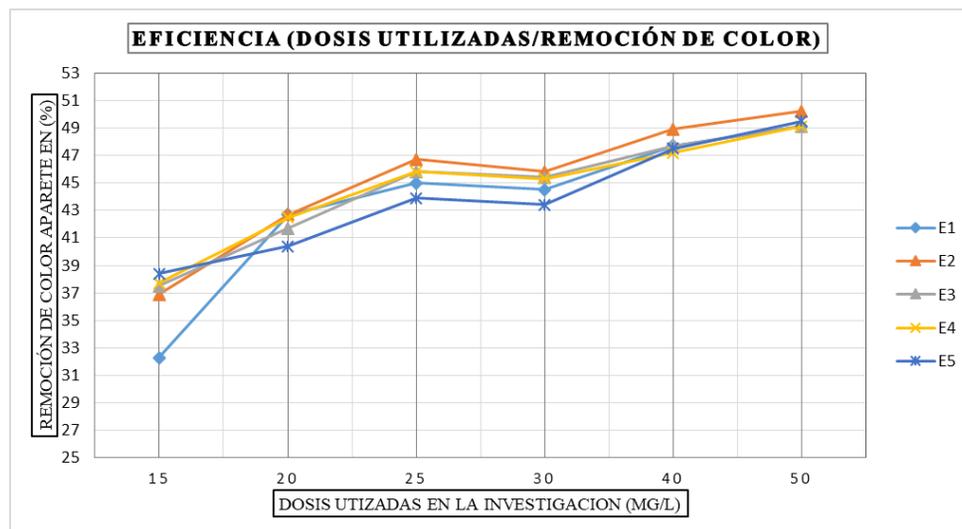
Tabla 45

Dosis Usadas y su Eficiencias en la Remoción de Color Aparente

Muestreo	Dosis utilizadas en la investigación (mg/l)					
	15	20	25	30	40	50
M1	32.3	42.7	45.0	44.5	47.7	49.1
M2	36.9	42.7	46.7	45.8	48.9	50.2
M3	37.5	41.7	45.8	45.4	47.7	49.1
M4	37.7	42.5	45.8	45.3	47.2	49.1
M5	38.4	40.4	43.9	43.4	47.5	49.5

Figura 67

Eficiencias de las Dosis Usadas en la Remoción de Color A.



De la tabla y figura anterior sobre la eficiencia de la dosis del almidón de trigo en la remoción de color aparente, se llega a las siguientes conclusiones:

- ✓ Las eficiencias de las diferentes dosis utilizadas en la investigación tiene una tendencia lineal, donde la mayor remoción de color aparente se logra con una dosis de 50 mg/l y la menor con 15 mg/l.
- ✓ La dosis de mayor eficiencia en la remoción de color aparente es la de 50 mg/l en todos los muestreos, logrando una eficiencia máxima de 50.2 % en el segundo muestreo y la que brinda las eficiencias más bajas en todos los muestreos es la de 15 mg/l, registrando una eficiencia mínima de 32.3 % en el primer muestreo.
- ✓ Para una dosis de 15 mg/l se logra una mayor eficiencia con el color aparente menor y una menor eficiencia con el color aparente mayor, registrando una eficiencia de remoción 38.4 % en el 5 muestreo y de 32.3 % y 36.9 % en el 1 y 2 muestreo.
- **Concentraciones utilizadas y su eficiencia en la remoción de color aparente.**

Luego de haber determinado que la dosis con mayor remoción de color aparente es la de 50 mg/l, se varió las concentraciones y se evaluó sus eficiencias.

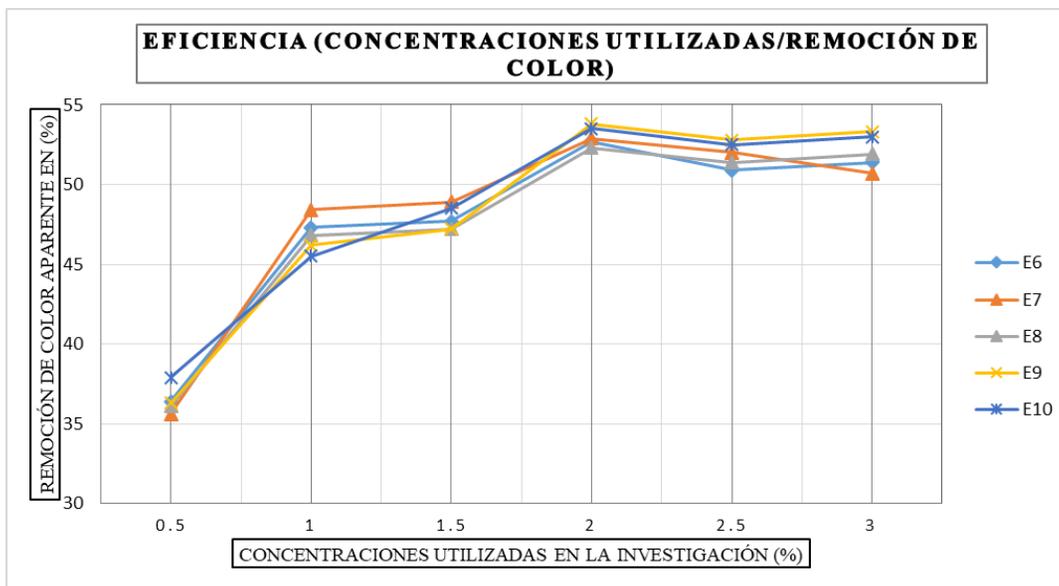
Tabla 46

Concentraciones Usadas y su Eficiencia en la Remoción de Color A.

Muestreo	Concentraciones utilizadas en la investigación (%)					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
M1	36.4	47.3	47.7	52.7	50.9	51.4
M2	35.6	48.4	48.9	52.9	52	50.7
M3	36.1	46.8	47.2	52.3	51.4	51.9
M4	36.3	46.2	47.2	53.8	52.8	53.3
M5	37.9	45.5	48.5	53.5	52.5	53

Figura 68

Eficiencias de las Contracciones Usadas en la Remoción de Color A.



De la tabla y figura anterior sobre la eficiencia de las concentraciones del almidón de trigo en la remoción de color aparente, se llega a las siguientes conclusiones:

- ✓ Las eficiencias de la dosis de 50 mg/l a diferentes concentraciones tiene un comportamiento un tanto parabólico, logrando la mayor remoción de color aparente a una concentración del 2 % y la mínima al 0.5 %.
- ✓ En todos los muestreos de la investigación la concentración con mayor eficiencia en la remoción de color aparente es la de 2 %, logrando un máximo de 53.8 % en el cuarto muestreo y la menor eficiencia en la remoción de color aparente es la de 0.5 %, registrando un 35.6 % en el segundo muestreo.
- ✓ Para la concentración de 0.5 % se logra una mayor eficiencia de remoción con el color aparente menor y una menor eficiencia con la muestra de color aparente más

elevado, registrando una eficiencia de remoción 37.9 % en el 5 muestreo y de 35.6 % en 2 muestreo.

COLOR VERDADERO

Tabla 47

Porcentaje de Remoción de Color Verdadero en Cada Muestreo

	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Muestreo
	N° (01)	N° (02)	N° (03)	N° (04)	N° (05)
Dosis(mg/l)	50	50	50	50	50
Concentración (%)	2	2	2	2	2
Color verdadero Ent. (Pt/Co)	0	0	0	0	0
Color verdadero Sal. (Pt/Co)	0	0	0	0	0
Remoción Color Ver. (%)	0	0	0	0	0

El color verdadero de entrada y salida del agua del manantial la “Quintilla” fue cero, lo cual se corrobora con los resultados de los análisis realizados en cada muestreo en el laboratorio regional del agua de la ciudad de Cajamarca (ANEXO 2). Cabe mencionar que el límite máximo permisible para este parámetro según lo establecido en el ANEXO II del DS N° 031-2010-SA del ministerio de salud es de 15 unidades de Pt/Co, por lo que se puede afirmar que el almidón de trigo no genera cambios en cuanto a la remoción del color verdadero del agua en estudio.

4.5. Análisis Estadístico.

Se midió la turbiedad y color de entrada y salida, es decir se realizó una medición antes de realizar el ensayo de jarras y otra después de terminar el ensayo en el laboratorio de calidad de la EPS SEDACAJ S.A. A continuación analizamos los resultados.

➤ Análisis estadístico de la turbiedad

Tabla 48*Resultados de Turbiedad de Entrada y Salida.*

Muestreo	Turbiedad (UNT)	
	Entrada	Salida
M. N° 01	49.7	13.2
M. N° 02	50.2	13.5
M. N° 03	47.8	12.6
M. N° 04	44.6	11.2
M. N° 05	36.6	9.8

➤ **Redacción de hipótesis.**

Hi = Las dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (Trigo) utilizadas son eficientes en la remoción de la turbiedad del agua del manantial la Quintilla.

H0 = Las dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (Trigo) utilizadas no son eficientes en la remoción de la turbiedad del agua del manantial la Quintilla.

➤ **Criterio para decidir**

Si el valor calculado P-Valor $\leq \alpha$, rechace Ho, (se acepta la Hi).

Si el valor calculado P-Valor $> \alpha$, no rechace Ho, (se acepta Ho).

➤ **Prueba T student para muertas relacionadas.**

Tabla 49*Prueba T para Medias de dos Muestras Emparejadas para la Turbiedad*

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
Media	45.78	12.06
Varianza	31.162	2.378

Observaciones	5	5
Coefficiente de correlación de Pearson	0.978297325	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	18.45242057	
P(T<=t) una cola	0.00002538	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	0.00005076	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

La prueba estadística nos muestra una probabilidad obtenida del P-Valor = 0.00005076, la cual es menor al nivel de significancia considerada del 0.05, esto nos indica que se acepta la hipótesis alterna (Hi), además existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los análisis que son en la entrada y salida.

Por ello con una probabilidad de error de 0.005076%, concluimos que las dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (Trigo) utilizadas son eficientes en la remoción de turbiedad del agua del manantial la Quintilla, logrando reducir la turbiedad promedio de 45.78 UNT a 12.06 UNT.

➤ **Análisis estadístico para el color.**

Tabla 50

Resultados de Color Aparente de Entrada y Salida.

Muestreo	Turbiedad (UNT)	
	Entrada	Salida
M. N° 01	220.0	104.0
M. N° 02	225.0	106.0
M. N° 03	216.0	103.0
M. N° 04	212.0	98.0
M. N° 05	198.0	92.0

➤ **Redacción de hipótesis.**

Hi = Las dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (Trigo) utilizadas son eficientes en la remoción del color aparente del agua del manantial la Quintilla.

H0 = Las dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (Trigo) utilizadas no son eficientes en la remoción del color aparente del agua del manantial la Quintilla.

➤ **Criterio para decidir**

Si el valor calculado P-Valor $\leq \alpha$, rechace Ho, (se acepta la Hi).

Si el valor calculado P-Valor $> \alpha$, no rechace Ho, (se acepta Ho).

➤ **Prueba T student para muertas relacionadas.**

Tabla 51

Prueba T para Medias de dos Muestras Emparejadas para el Color Aparente

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
Media	214.2	100.6
Varianza	105.2	31.8
Observaciones	5	5
Coefficiente de correlación de Pearson	0.98289933	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	52.6241838	
P(T<=t) una cola	0.00000039	
Valor crítico de t (una cola)	2.13184679	
P(T<=t) dos colas	0.00000078	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77644511	

La prueba estadística nos muestra una probabilidad obtenida del P-Valor = 0.0000078, la cual es menor al nivel de significancia considerada del 0.05, esto nos indica que se acepta la

hipótesis alterna (Hi), además existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los análisis que son en la entrada y salida.

Por ello con una probabilidad de error de 0.00078%, concluimos que las dosis de almidón de *Triticum Aestivum* (Trigo) utilizadas son eficientes en la remoción del color aparente del agua del manantial la Quintilla. Logrando reducir el color aparente promedio de 214.20 Pt/Co a 100.60 Pt/Co.

NOTA: Para el color verdadero no es posible realizar su análisis estadístico, debido a que no se pudo cuantificar el valor de este parámetro, ya que el equipo del laboratorio tiene un límite de detección de 0.00 Pt/Cu.

4.6. Discusión de Resultados.

Velandia en su investigación realizada en el año 2021 demostró que le almidón de trigo remueve la turbiedad en 85% y el color aparente de 85.1 %, con una dosis de 5 mg/l a una concentración de 2 % con una mezcla lenta de 20 rpm. Por otro lado en la presente investigación se demostró que este agente orgánico remueve la turbiedad y color aparente en un 74.89% y 53.77% respectivamente con una dosis de 50 mg/l a una concentración de 2% y una mezcla lenta de 40 rpm, las variaciones de remoción se deben principalmente a la dosis empleada, la velocidad de mezcla y las características de la fuente estudiada.

Cuadro y rodas en su investigación realizada en el año 2018, en base a almidón de yuca y moringa demostró que con una dosis de 17,5 mg/l de moringa con 0.5 mg/l de almidón de yuca logro una turbiedad final de 1.6 NTU y color aparente de 6 Pt/co en aguas superficiales del rio “Vinces”. En los ensayos o tratamientos de nuestra investigación usando agua del manantial la Quintilla se logró una turbiedad final de 9.8 NTU y el color aparente de 92 Pt/co con dosis de 50

mg/l de almidón de trigo, se puede afirmar que las variaciones en la remoción de estos parámetros se deben al coagulante orgánico utilizado y a las características de la fuente investigada.

En la investigación realizada por Palacios en el 2018, utilizando almidón de maíz como agente de coagulación-floculación logro una máxima remoción de turbiedad del 77.45 % utilizando agua del río Casca, con una dosis óptima de 25 mg/l a una concentración de 1 %, determino los parámetros de floculación para su estudio donde el tiempo de floculación fue de 25 minutos y gradiente de velocidad 40 S-1 en la mayor parte de las pruebas realizadas. Por su parte en la presente investigación se logró una máxima remoción de turbiedad 74.89 % con una dosis óptima de 50 mg/l a una concentración del 2 %, los parámetros de floculación encontrados son de tiempo óptimo de floculación se encuentra entre 20 y 25 minutos, con un gradiente de velocidad de 60 S-1 y 40 S-1, las variaciones en cada uno de los estudios se debe a las características de la fuente, a las dosis y concentraciones utilizadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación algunos parámetros no cumplen con los límites máximos permisibles de la calidad del agua para consumo humano, según el DS N° 031-2010-SA del Ministerio de Salud. A continuación se detallan los resultados obtenidos en cada muestreo.

➤ **Muestreo N° 01**

Después de realizado el ensayo del jarro, se obtuvo una eficiencia de remoción de turbiedad y color aparente de 73.44% y 52.73% respectivamente, con una dosis de 50 mg/l a una concentración de 2% y PH de 7.36; en cuanto a los parámetros de floculación, se obtuvo lo siguiente: tiempo de floculación óptimo fue de 25 minutos, con un gradiente de velocidad de 60 S-1, logrando reducir la turbiedad de 49.70 UNT a 12.50 UNT, ver tabla 17.

Según el análisis fisicoquímico realizado el 26/02/2023 en el laboratorio regional del agua de la ciudad de Cajamarca se corrobora los valores de turbiedad, color verdadero y PH a la entrada en el agua del manantial la Quintilla, dando fiabilidad a los resultados obtenidos en la investigación. Si bien no se removió la turbiedad a los niveles que se establecen en los LMP de \leq a 0.5 UNT. En los procesos de tratamiento del agua es necesario un proceso de filtración para una mayor remoción de la turbiedad residual, la cual no se ha contemplado en la presente investigación.

Por otro lado el color verdadero no se pudo cuantificar ya que la medición en el laboratorio indica que el resultado es menor al Límite de Cuantificación del Método (4.000 <LCM), dando un valor de 0.00, siendo el LMP de 15.00 Pt/Co o UC.

➤ **Muestreo N° 02**

Después de realizado el ensayo del jarras, se obtuvo una eficiencia de remoción de turbiedad y color aparente de 73.11% y 52.89% respectivamente, con una dosis de 50 mg/l a una concentración de 2% y PH de 7.54; en cuanto a los parámetros de floculación, se obtuvo lo siguiente: tiempo de floculación optimo fue de 25 minutos, con un gradiente de velocidad de 40 S-1, logrando reducir la turbiedad de 50.20 UNT a 13.2 UNT, ver tabla 23.

Según el análisis fisicoquímico realizado el 06/03/2023 en el laboratorio regional del agua de la ciudad de Cajamarca se corrobora los valores de turbiedad, color verdadero y PH a la entrada en el agua del manantial la Quintilla, dando fiabilidad a los resultados obtenidos en la investigación. Si bien no se removió la turbiedad a los niveles que se establecen en los LMP de \leq a 0.5 UNT. En los procesos de tratamiento del agua es necesario un proceso de filtración para una mayor remoción de la turbiedad residual, la cual no se ha contemplado en la presente investigación.

Por otro lado el color verdadero no se pudo cuantificar ya que la medición en el laboratorio indica que el resultado es menor al Límite de Cuantificación del Método (4.000 <LCM), dando un valor de 0.00, siendo el LMP de 15.00 Pt/Co o UC.

➤ **Muestreo N° 03**

Después de realizado el ensayo del jarras, se obtuvo una eficiencia de remoción de turbiedad y color aparente de 73.64% y 52.31% respectivamente, con una dosis de 50 mg/l a una concentración de 2% y PH de 7.55; en cuanto a los parámetros de floculación, se obtuvo lo siguiente: tiempo de floculación optimo fue de 20 minutos, con un gradiente de velocidad de 60 S-1, logrando reducir la turbiedad de 47.80 UNT a 12.8 UNT, ver tabla 29.

Según el análisis fisicoquímico realizado el 13/03/2023 en el laboratorio regional del agua de la ciudad de Cajamarca se corrobora los valores de turbiedad, color verdadero y PH a la entrada en el agua del manantial la Quintilla, dando fiabilidad a los resultados obtenidos en la investigación. Si bien no se removió la turbiedad a los niveles que se establecen en los LMP de <= a 0.5 UNT. En los procesos de tratamiento del agua es necesario un procesó de filtración para una mayor remoción de la turbiedad residual, la cual no se ha contemplado en la presente investigación.

Por otro lado el color verdadero no se pudo cuantificar ya que la medición en el laboratorio indica que el resultado es menor al Límite de Cuantificación del Método (4.000 <LCM), dando un valor de 0.00, siendo el LMP de 15.00 Pt/Co o UC.

➤ **Muestreo N° 04**

Después de realizado el ensayo del jarras, se obtuvo una eficiencia de remoción de turbiedad y color aparente de 74.89% y 53.77% respectivamente, con una dosis de 50 mg/l a una concentración de 2% y PH de 7.52; logrando en esta prueba la mayor remoción de los parámetros

evaluados, en cuanto a los parámetros de floculación, se obtuvo lo siguiente: tiempo de floculación óptimo fue de 20 minutos, con un gradiente de velocidad de 60 S-1, logrando reducir la turbiedad de 44.60 UNT a 11.9 UNT, ver tabla 35.

Según el análisis fisicoquímico realizado el 20/03/2023 en el laboratorio regional del agua de la ciudad de Cajamarca se corrobora los valores de turbiedad, color verdadero y PH a la entrada en el agua del manantial la Quintilla, dando fiabilidad a los resultados obtenidos en la investigación. Si bien no se removió la turbiedad a los niveles que se establecen en los LMP de \leq a 0.5 UNT. En los procesos de tratamiento del agua es necesario un proceso de filtración para una mayor remoción de la turbiedad residual, la cual no se ha contemplado en la presente investigación.

Por otro lado el color verdadero no se pudo cuantificar ya que la medición en el laboratorio indica que el resultado es menor al Límite de Cuantificación del Método (4.000 <LCM), dando un valor de 0.00, siendo el LMP de 15.00 Pt/Co o UC.

➤ **Muestreo N° 05**

Después de realizado el ensayo del jarras, se obtuvo una eficiencia de remoción de turbiedad y color aparente de 73.22% y 53.54% respectivamente, con una dosis de 50 mg/l a una concentración de 2% y PH de 7.60, en cuanto a los parámetros de floculación, se obtuvo lo siguiente: tiempo de floculación óptimo fue de 25 minutos, con un gradiente de velocidad de 60 S-1, logrando reducir la turbiedad de 36.60 UNT a 10.6 UNT, ver tabla 41.

Según el análisis fisicoquímico realizado el 27/03/2023 en el laboratorio regional del agua de la ciudad de Cajamarca se corrobora los valores de turbiedad, color verdadero y PH a la entrada en el agua del manantial la Quintilla, dando fiabilidad a los resultados obtenidos en la investigación. Si bien no se removió la turbiedad a los niveles que se establecen en los LMP de \leq

a 0.5 UNT. En los procesos de tratamiento del agua es necesario un proceso de filtración para una mayor remoción de la turbiedad residual, la cual no se ha contemplado en la presente investigación.

Por otro lado el color verdadero no se pudo cuantificar ya que la medición en el laboratorio indica que el resultado es menor al Límite de Cuantificación del Método ($4.000 < \text{LCM}$), dando un valor de 0.00, siendo el LMP de 15.00 Pt/Co o UC.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Las conclusiones a las que se ha llegado en el presente trabajo de investigación son:

- a) Se determinó las características fisicoquímicas del agua por cada muestreo, la máxima turbiedad encontrada fue de 50.10 UNT, la cual está fuera del LMP, el valor máximo de los sólidos disueltos totales fue de 266 mg/l los cuales se encuentran dentro de los LMP, el color aparente es menor a las 4.000 UC o Pt/co que corresponde al límite de cuantificación del método (LCM), además presenta un PH básico siendo el máximo encontrado de 7.59, revisar ANEXO 2.
- b) Según el análisis de los datos obtenidos se determinó la remoción de turbiedad y color aparente del agua del manantial la Quintilla para las dosis de: 15, 20, 25, 30, 40 y 50 mg/l de almidón de trigo a concentraciones de 0.5 %, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3%. Logrando la mayor remoción con una dosis de 50 mg/l a una concentración de 2%, donde la mínima remoción de turbiedad es de 73.11% y la máxima de 74.89%, para el color aparente la mínima remoción es de 52.31% y la máxima de 53.77%.
- c) Se demostró que de las dosis y concentraciones contempladas en la investigación la dosis de 50 mg/l a una concentración de 2% es la más eficiente removiendo la turbiedad y color aparente del agua.
- d) Se determinó los parámetros de floculación en los diferentes muestreos, donde el tiempo óptimo de floculación se encuentra entre 20 y 25 minutos, con un gradiente de velocidad de 60 S-1 y 40 S-1.

5.2. Recomendaciones

- a) Se recomienda evaluar el almidón de trigo a diferentes dosis y concentraciones de las contempladas en la presente investigación a fin de recomendar este insumo como agente de coagulación-floculación en las plantas de tratamiento convencional.
- b) Implementar una etapa de filtración después de la prueba de jarras, para determinar cuánto aumenta la remoción de turbiedad y color aparente en el agua, esto se puede lograr utilizando papel filtro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andía Cárdenas, Yolanda . 2000. Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. [aut. libro] SEDAPAL. *Tratamiento del Agua: Coagulación y Floculación*. Lima : s.n., 2000, págs. 8-34.

Arboleda , J. . 1992. *Teoría de la Coagulación del Agua*. Colombia : Acobal, 1992. pág. 35.

Bautista Lenes, Geraldine. 2019. *Estandarización de los métodos analíticos alcalinidad y dureza en una muestra de agua recreativa de la Universidad Manuela Beltran sede Bogotá*. Corporación tecnológica de Bogotá, Bogotá, Colombia : 2019.

Bravo Gallardo, Monica Alejandra. 2017. *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia : 2017.

Caminati Briceño, Alessandra María y Caqui Febre, Rocío Catherine . 2013. *Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y si distribución en la Universidad de Piura*. Universidad de Piura, Piura, Perú : 2013.

Campos, José Roberto y Bernardo, Luiz . 1991. *Uso de Polímeros Naturales en el Tratamiento de Agua para Abastecimiento*. Cali : Ultratextos LTDA-Cali, 1991. pág. 34.

Carrasco, José y Saucedo, Juleisy. 2019. *Formulación y evaluación de un alimento instantáneo por extrusión a base de maíz mote (zea mays L.) y trigo (triticum aestivum)*. Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", Lambayeque : 2019.

Carrizales Condori, Rosali y Enríquez Nateros , Nilo. 2019. *Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de moringa oleifera en la clarificación del agua de la quebrada taczanapampa de la ciudad de Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú : 2019.

Carvajal Azcona, Ángeles y Gonzáles Fernádes, María. 2012. Propiedades y funciones biológicas del agua. Madrid : Universidad Complutense de Madrid, 2012, págs. 66-67.

Castrillón Beyoda, Daniela y Ángeles Giraldo, Maria. 2012. *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana.*

Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia : 2012.

CEPIS. 1972. *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua.* Lima : s.n., 1972. pág. 274. Vol. 13.

CEPIS. 2004. *Tratamiento de agua para Consumo Humano "Plantas de Filtración Rápida".* Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004.

Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. **Pérez López, Esteban. 2016.** 3, Costa Rica : s.n., 2016, Tecnología en Marcha, Vol. 29, págs. 6-7.

Cuadro Santana, Willian Antonio y Rodas Haz, Josué Emmanuel. 2018. *Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de Yuca y Moringa Oleífera en tratamiento de aguas superficiales.* Universidad de Guayaquil, Ecuador : 2018.

Diáz Mori, Edgar Darwin. 2014. *Factores que influyen en la calidad del agua del manantial de molinopampa, que se usa para consumo doméstico en la ciudad de Celendín.* Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca : 2014.

Enfoques teóricos para la evaluación de la eficiencia y eficacia en el primer nivel de atención médica de los servicios de salud del sector público. **Calvo , Jeison, Pelegrín , Arístides y Gil , María Saturnina. 2017.** 1, 2017, Retos de la Dirección, Vol. 12.

Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. **Fúquene, Diana Marcela y Yate, Andrea Viviana . 2018.** 1, s.l. : ECAMPA, 2018, Working Papers, Vol. 2, págs. 5-6.

Espinoza Tacuri, Marco Antonio. 2015. *Caracterización del agua del no Alameda y tipificación según Índice de Calidad del Agua, Ayacucho 2014.* Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú : 2015.

Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. **Acosta, Lorenzo Yaniris. 2006.** Cuba : s.n., 2006, ICIDCA.

Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. **Barreto P., Juan , y otros. 2019.** 1, Bogotá : s.n., 2019, Revista de Investigación Agraria y Ambiental, Vol. 11, págs. 110-111. ISSN-e 2145-6453.

Expression and regulation of genes involved in the reserve starch biosynthesis pathway in hexaploid wheat (Triticum aestivum L.). **Yunsong , Gu , y otros. 2021.** 2, China : s.n., 2021, ScienceDirect, Vol. 9, págs. 441-442.

Ferreras Charro, Rebeca . 2009. *Análisis reológico de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo.* Universidad de Salamanca, Salamanca, España : 2009.

Gambarotta, Lucas . 2005. *Caracterización de las fracciones de harina de trigo de pan.* Universidad de Belgramo, Belgramo : 2005.

Gonzáles, Carmen. 2011. *La turbidez.* Universidad de Puerto Rico, Mayagüez : 2011.

Gonzáles, Enrique y Martínez, Antony. 2017. *Sustitución parcial de la harina de trigo (triticum aestivum) por la harina de kiwicha (amaranthus caudatus) y la harina de cascara de maracuya (pasiflora edulis) en las características fisicoquímicas y sensoriales de galletas fortificadas.* Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú : 2017.

Huaman Quispe, Alvaro y Betancurt Palomino, Jose Americo. 2019. *Tratamiento fisicoquímico de aguas turbias de la Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L Camanti-Quince Mil.* Univeridad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco : 2019.

INTAGRI. s.f.. La Alcalinidad del Agua y su Efecto en los Sustratos. [En línea] s.f. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-alcalinidad-del-agua-y-su-efecto-en-los-sustratos>.

Juárez García, Francisco, Villatoro Velázquez, Jorge y López Lugo, Elsa Karina . 2002. *Apuntes de Estadística Inferencial.* México : Calzada México Xochimilco 101, 2002. pág. 19. ISBN: 968-7652-41-1.

Kirchmer, Cliff J. , Arboleda , Jorge y Castro, María Luisa. 1975. *Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación.* Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1975. pág. 2.

Labeaga Viteri, Aitziber. 2018. *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones.* Universidad Nacional de Educación a Distancia, s.l. : 2018.

Martínez Arreola, María. 2015. *Uso de polímeros en el tratamiento de agua para consumo humano.* Universidad Nacional Autónoma de México, México : 2015.

Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. **Solís Silvan, Rudy, Laines Canepa, Jose Ramón y Hernández Barajas, José Roberto. 2012.** 3, Mexico : Scielo, 2012, Revista internacional de contaminación ambiental, Vol. 28. ISSN 0188-4999.

Ministerio de Salud. 2011. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. [En línea] 2011.
http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf.

Moreno, Sandy Celina. 2016. *Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa.* Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú : 2016.

Nieto Orellana, Christian y Orellana Ulloa, Valeria. 2011. *Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante.* Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador : 2011.

Ojeda , Lizabeth Fernanda. 2012. *Determinación De La Eficiencia De Las Características Coagulantes Y Floculantes Del Tropaeolum, En El Tratamiento Del Agua Cruda De La Planta De Puengasi De EPMAPS.* Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador : 2012.

Olortegui Rodriguez, Herbert Frank . 2019. *Determinación de la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con coagulante sulfato de aluminio tipo "A" de la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba.* Universidad Nacional de San Martín de Tarapoto, Moyobamba, Perú : 2019.

Organización Mundial de la Salud. 2018. *Guías para la calidad del agua para consumo humano.* Cuarta Edición. Lima : Organización Mundial de la Salud, 2018. ISBN 978-92-4-354995-8.

Pacheco Anco, Prisiani y Zapana Mamani , Kelly. 2018. *Evaluación de los parámetros en el proceso de clarificación de aguas de la subcuenca del río yura en la zona la caleta para la potabilización de aguas de la JASS-vitor.* Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú : 2018.

Pajuelo Henostrosa, Max Steven. 2018. *Determinación de la velocidad de sedimentación utilizando el almidón de manihot esculenta (yuca), para la clarificación de las aguas superficiales del río Macashca – 2016.* Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", Huaraz : 2018.

Palacios Cacha, Oswaldo Niceforo. 2018. *Evaluación de la dosis y concentración del almidón de zea mays (maíz) en el proceso de floculación, utilizando agua del río Casca- 2016.* Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", Huaraz : 2018.

Pérez Carrión, José, Méndez, Gerardo y Cánepa de Vargas, Lidia. 1992. *El agua- Calidad y Tratamiento para Consumo Humano.* Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1992.

Polvo de la semilla cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. **Guzman, Luis, Taron, Arnulfo y Núñez, Antonio. 2015.** 2, Cartagena : s.n., 2015, Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial, Vol. 13, págs. 123-129.

Pradillo, Beatriz . 2014. Iagua. [En línea] 21 de Octubre de 2014.
[https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/colores-agua.](https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/colores-agua)

Puertas Rodríguez, Esaú Eduardo y Torres Velásquez, Carol Stephanie. 2015. *Estudio comparativo de los procesos: coagulación-floculación, filtración y su combinación, para determinar el proceso más eficiente en la clarificación de agua utilizada en el vivero vitivinícola de la autoridad autónoma de majes.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú : 2015.

Quispe Paniagua, Yure. 2012. *Determinación del nivel de sustitución de harina de trigo comercial por harina de trigo (Triticum aestivum ssp) INIA – 418 “El Nazareno” para elaboración de panes francés y para hamburguesa.* Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú : 2012.

Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión.
Guzmán, Luis , y otros. 2013. 1, Bogotá : s.n., 2013, Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, Vol. 16, págs. 253-262. ISSN 0123-4226.

Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants.
Asrafuzzaman, Md., Fakhruddin, A. y Alamgir Hossain, Md. 2011. s.l. : ISRN Microbiology, 2011, International Scholarly Research Network, Vol. 2011, págs. 1-2.

Rojas, Yosilda. 2021. *Análisis bibliométrico sobre el uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas para el consumo humano.* Universidad César Vallejo, Lima, Perú : 2021.

*Tratamiento de coagulación-floculación de aguas residuales agroindustriales de alta concentración utilizando *Cassia obtusifoliagoma* de semilla: eficiencias de tratamiento y caracterización de flóculos.* **Shak , Katrina y Wu, Yeong . 2014.** 3, Cuba : Tecnología Química, 2014, Chemical Engineering Journal, Vol. 256, pág. 298. ISSN: 0041-8420.

Varela López, Antanael. 2013. *T-Student Muestras Relacionadas.*

Velandia , Javier Leandro . 2021. *Evaluación del almidón de maíz y trigo como coagulante - floculante para la remoción de turbiedad y color aparente en acueductos rurales.* Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia : 2021.

Villanueva Abanto, Jheyser. 2019. *Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica* (L) miller) y de san pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación del agua.* Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca : 2019.

Villanueva, Miguel Ángel y Avila, Johann David. 2019. *Análisis de calidad del agua (turbiedad y color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia.* Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C, Colombia : 2019.

ANEXOS

ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO

01. Extracción de almidón de maíz

Figura 69

Pesada de 3 kg de Harina de Trigo



Figura 70

Refrigeración y Reposo del Almidón de Trigo



Figura 71

Almidón de Trigo Obtenido



02. Panel fotográfico de la prueba de jarras

Figura 72

Peso de 5 Gramos de Almidón de Trigo

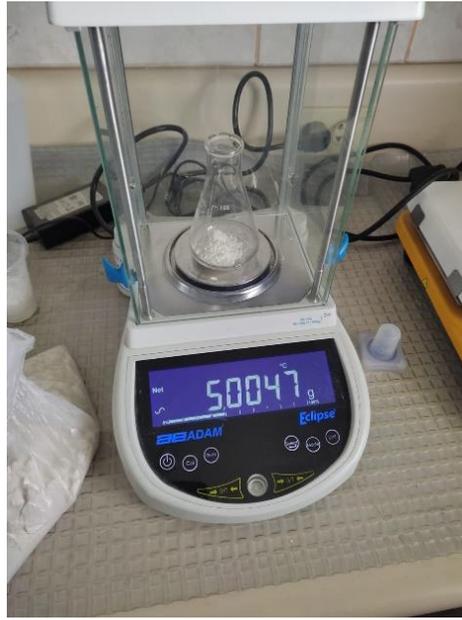


Figura 73

Gelatinización del Almidón de Trigo al 5 %



Figura 74

Equipo de Prueba de Jarras



Figura 75

Homogenización de la Muestra de Agua



Figura 76

Medida en el Espectrofotómetro del Color Verdadero



Figura 77

Medida del Color aparente en el Espectrofotómetro



Figura 78

Medida de Ph del Agua del Manantial la Quintilla



Figura 79

Concentraciones del Almidón de Trigo



Figura 80

Colocación de Jeringas con Coagulante en Frente de Cada Jarra



Figura 81

Laboratorio de la Calidad de la EPS-SEDACAJ



Figura 82

Medición de Turbiedad en Turbidímetro a la Entrada

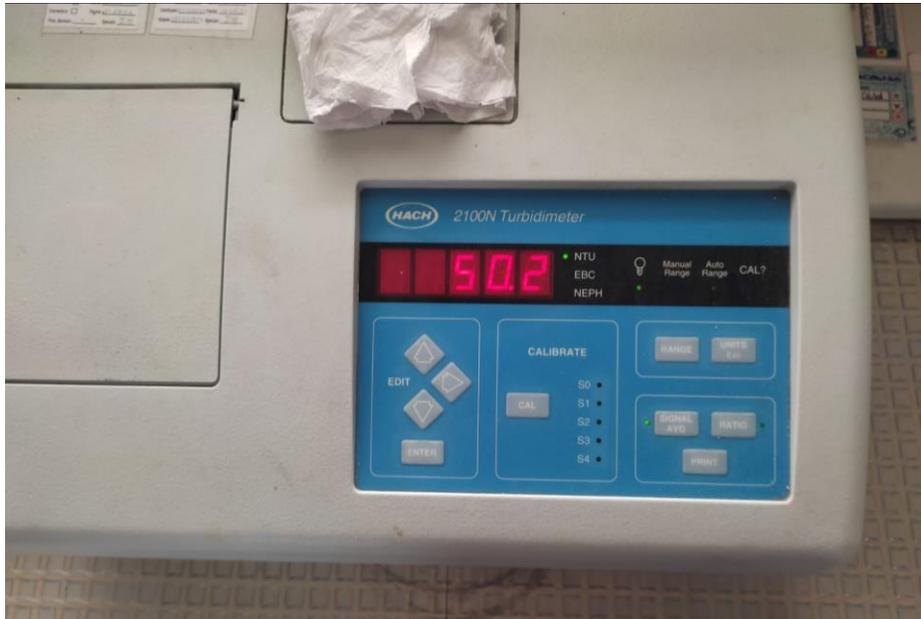


Figura 83

Medición de Turbiedad en Turbidímetro a la Salida



ANEXO 2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO