

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Estandarización del Coagulante Tipo A en el Módulo II de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán, mediante la elaboración de una Curva de Dosificación

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico

Autores:

Alex Santiago Belduma Ochoa

Karla Adriana Camposano Chica

Director:

Alexandra Elizabeth Guanuchi Quito

ORCID:  0000-0002-5583-8674

Cuenca, Ecuador

2023-08-29

Resumen

El objetivo de este estudio es obtener la curva de dosificación de coagulante sulfato de aluminio tipo A, para el módulo II de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán. Para dicho proceso se basó en la obtención de dos curvas de dosificación, la primera con agua sintética y la segunda con agua cruda, conformadas por dosis óptima vs turbiedad. Las curvas fueron obtenidas mediante el análisis estadístico en el programa Microsoft Excel. Además, se analizaron los costos dentro del proceso de coagulación y floculación con los dos tipos de sulfato de aluminio (A y B), donde se obtuvo que el costo de operación con coagulante sulfato de aluminio tipo A es menor en comparación con el sulfato de aluminio tipo B. El muestreo, transporte y conservación de las muestras de agua cruda se realizó bajo las normas NTE INEN 2176 y NTE INEN 2169. Por las fluctuaciones climáticas en la ciudad de Cuenca durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo se tomaron muestras de agua cruda con distintos valores de turbiedad. Las muestras de agua sintética fueron preparadas en el laboratorio al mezclar agua cruda con caolín. Las dosis óptimas de cada una de las muestras de agua, tanto para la sintética como para la cruda, fueron encontradas mediante pruebas de jarras, tomando en cuenta los valores iniciales y finales del pH, color y turbiedad, estos ensayos fueron desarrollados en el laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Cuenca.

Palabras clave: pruebas de jarras, sulfato de aluminio tipo A, agua potable, dosis óptima, agua sintética



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The objective of this study is to obtain the dosing curve of type A aluminum sulfate coagulant, for module II of the Tixán Drinking Water Treatment Plant. For this process, it was based on obtaining two dosing curves, the first with synthetic water and the second with raw water, made up of optimal dose vs. turbidity. The curves were obtained through statistical analysis in the Microsoft Excel program. In addition, the costs within the coagulation and flocculation process with the two types of aluminum sulfate (A and B) were analyzed, where it was obtained that the operating cost with type A aluminum sulfate coagulant is lower compared to aluminum sulfate. type B aluminum. The sampling, transport and conservation of the raw water samples were carried out under the NTE INEN 2176 and NTE INEN 2169 standards. Due to climatic fluctuations in the city of Cuenca during the months of January, February, March, April and Raw water samples with different turbidity values were taken in May. The synthetic water samples were prepared in the laboratory by mixing raw water with kaolin. The optimal doses of each of the water samples, both for the synthetic and for the raw, were found through jar tests, taking into account the initial and final values of pH, color and turbidity. These tests were developed in the laboratory of Environmental Analysis of the University of Cuenca.

Keywords: jar tests, aluminum sulfate type A, drinking water, optimal dose, synthetic water



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract	3
Dedicatoria	12
Agradecimiento	13
Capítulo I	17
1 Introducción	17
1.1 Antecedentes	17
1.2 Problemática	18
1.3 Justificación	19
1.4 Objetivos	20
Capítulo II	21
2 Marco Teórico	21
2.1 Agua	21
2.1.1 Concepto	21
2.1.2 Estructura Molecular del Agua	21
2.1.3 Ionización	22
2.1.4 Sustancias Dispersas en el Agua	22
2.2 Parámetros Físicos del Agua	23
2.2.1 Color	23
2.2.2 Turbiedad	23
2.2.3 Conductividad	24
2.2.4 pH	24
2.2.5 Olor-Sabor	24
2.2.6 Sólidos Totales Disueltos	24
2.2.7 Dureza Total	24
2.3 Parámetros Químicos del Agua	25
2.3.1 Alcalinidad	25
2.3.2 Acidez	25
2.3.3 Temperatura	25
2.4 Potabilización del Agua	25
2.4.1 Agua Potable	25
2.4.2 Agua Cruda	26
2.5 Tratamiento del Agua Cruda	26
2.5.1 Coagulación:	26
2.5.2 Floculación	30
2.5.3 Sedimentación	30
2.5.4 Filtración	31
2.5.5 Desinfección	31

2.6	Pruebas de Jarras	31
2.6.1	Dosis Óptima	32
2.7	Generalidades de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán.	32
2.7.1	Pre Oxidación	33
2.7.2	Mezcla Rápida	34
2.7.3	Decantadores	35
2.7.4	Baterías de Filtración	35
2.7.5	Sistema de Desinfección	36
Capítulo III		37
3	Metodología	37
3.1	Muestreo del Agua Cruda	37
3.2	Recolección de las Muestras	38
3.3	Preparación de Agua Sintética	39
3.4	Proceso para Selección de Dosis Óptima	39
3.4.1	Preparación de reactivos:	40
3.4.2	Cálculo de coagulante en las pruebas de jarras:	40
3.4.3	Condiciones para las pruebas de jarras:	41
3.4.4	Pasos para la Selección de la Dosis Óptima:	41
3.5	Determinación del Porcentaje de Remoción	42
Capítulo IV		43
4	Resultados y Discusiones	43
4.1	Análisis de Resultados de Pruebas de Jarras para el Agua Sintética	44
4.1.1	Ensayos del Mes de Marzo Agua Sintética	45
4.1.2	Ensayos del Mes de Abril Agua Sintética.	45
4.2	Análisis de Resultados de Pruebas de Jarras para el Agua Cruda	46
4.2.1	Ensayos del Mes de Febrero con Agua Cruda	47
4.2.2	Ensayos del Mes de Marzo con Agua Cruda	47
4.2.3	Ensayos del Mes de Abril con Agua Cruda	47
4.2.4	Ensayos del Mes de Mayo con Agua Cruda	48
4.3	Comportamiento de las Curvas por Rangos.	49
4.3.1	Comportamiento de la Curva con Agua Sintética	49
4.3.2	Comportamiento de la Curva con Agua Cruda	50
4.4	Análisis para la Obtención de las Curvas	52
4.5	Porcentaje de Remoción	54
4.5.1	Porcentajes de Remoción del Agua Sintética	54
4.5.2	Porcentajes de Remoción con Agua Cruda	56
4.6	Comportamiento del pH	57
4.6.1	Comportamiento del pH en el Agua Sintética:	57
4.6.2	Comportamiento del pH en el Agua Cruda	58
4.6.3	Discusión de los Resultados Comportamiento del pH:	58

4.7	Análisis Económico	58
4.7.1	Costos Mensuales de los Coagulantes Sulfato de Aluminio Tipo A y B	59
4.7.2	Diferencia de Costos Mensuales	60
Capítulo V		62
5	Conclusiones y Recomendaciones	62
5.1	Conclusiones	62
5.2	Recomendaciones:	64
Capítulo VI		65
6	Referencias Bibliográficas:	65
6.1	Referencias	65
Capítulo VII		72
7	Anexos	72
7.1	Anexo A. Formato de toma de datos	72
7.2	Anexo B. Requisitos Normativa INEN NTE 1108	73
7.3	Anexo C. Equipos de laboratorio	74
7.4	Anexo D. Toma de Muestras	76
7.5	Anexo E. Pruebas de Jarras	77
7.6	Anexo F. Captación de Agua	79
7.7	Anexo G. Coagulante y Floculante	80
7.8	Anexo H. Curvas de Dosificación Sulfato de Aluminio Tipo B PTAP-T	81
7.9	Anexo I. Resultados Pruebas de Jarras por Mes Turbiedad y Color Agua Sintética	83
7.10	Anexo J. Resultados Pruebas de Jarras por Mes Turbiedad y Color Agua Cruda	88
7.11	Anexo K. Códigos de Scilab	94
7.12	Anexo L. Curvas de Dosificación Agua Cruda y Agua Sintética	104

Índice de Figuras

Figura 1 Estructura de una Molécula de Agua _____	22
Figura 2 Clasificación e Intervalos de Tamaños de Partículas presentes en el agua ____	23
Figura 3 Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán _____	33
Figura 4 Etapa de pre oxidación del agua cruda al ingreso de la PTAP-T _____	34
Figura 5 Dosificación del Sulfato de Aluminio _____	34
Figura 6 Sedimentadores _____	35
Figura 7 Filtros de Antracita y Arena _____	36
Figura 8 Etapa de Cloración _____	36
Figura 9 Recolección de muestras de Agua Cruda de la PTAP-T _____	38
Figura 10 Agua Sintética _____	39
Figura 11 Ensayo de Jarras _____	42
Figura 12 Curva Agua Sintética Rango de 0 a 50 NTU _____	49
Figura 13 Curva Agua Sintética Rango de 51 a 100 NTU _____	50
Figura 14 Curva Agua Sintética Rango de 101 a 1000 NTU _____	50
Figura 15 Curva Agua Cruda Rango de 0 a 50 NTU _____	51
Figura 16 Curva Agua Cruda Rango de 51 a 100 NTU _____	51
Figura 17 Curva Agua Sintética Rango de 101 a 1000 NTU _____	52
Figura 18 Remoción de Turbiedad Agua Sintética _____	54
Figura 19 Remoción de Color Agua Sintética _____	55
Figura 20 Remoción de Turbiedad Agua Cruda _____	56
Figura 21 Remoción de Color Agua Cruda _____	56
Figura 22 Comportamiento del pH Agua Sintética _____	57
Figura 23 Comportamiento del pH Agua Cruda _____	58
Figura 24 Diferencia de Costo de Coagulantes por Meses. _____	61
Figura 25 Test de Jarras _____	74
Figura 26 Turbidímetro Hach 2100 _____	74
Figura 27 Potenciómetro Hach _____	75
Figura 28 Espectrofotómetro Hach 3900 _____	75
Figura 29 Toma de Muestras del Agua de Ingreso a la PTAPT _____	76
Figura 30 Pruebas de Jarras Agua Sintética _____	77
Figura 31 Pruebas de Jarras Agua Cruda _____	77
Figura 32 Formación de Flóculos _____	78
Figura 33 Proceso de Sedimentación _____	78
Figura 34 Canales de Captación de Agua _____	79
Figura 35 Sulfato de Aluminio Tipo A Granulado _____	80
Figura 36 Floculante Polímero _____	80
Figura 37 Curva de Dosificación Sulfato de Aluminio Tipo B 0 a 200 NTU _____	81
Figura 38 Curva de Dosificación Sulfato de Aluminio Tipo B 100 a 1000 NTU _____	82
Figura 39 Código Scilab Curva Agua Sintética _____	94
Figura 40 Código Scilab Curva Agua Cruda _____	94
Figura 41 Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua sintética de 0 a 1000 NTU programa Excel _____	104
Figura 42 Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua sintética de 0 a 100 NTU programa Scilab _____	105

- Figura 43** Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua sintética de 100 a 1000 NTU programa Scilab _____ 106
- Figura 44** Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua cruda de 0 a 1000 NTU programa Excel. _____ 107
- Figura 45** Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua cruda de 0 a 100 NTU programa Scilab. _____ 108
- Figura 46** Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua cruda de 0 a 100 NTU programa Scilab. _____ 109

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Diferencia entre el Sulfato de Aluminio Tipo A y B</i>	29
Tabla 2	<i>Resumen de los Resultados del Agua Sintética</i>	44
Tabla 3	<i>Resumen de los Resultados del Agua Cruda</i>	46
Tabla 4	<i>Fórmulas del Modelado de la Curva con Agua Sintética</i>	53
Tabla 5	<i>Fórmulas del Modelado de la Curva con Agua Cruda</i>	53
Tabla 6	<i>Descripción de cosos de operación en el módulo II PTAP-T.</i>	59
Tabla 7	<i>Costo de Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A por Volumen Mensual</i>	59
Tabla 8	<i>Costo de Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo B por Volumen Mensual</i>	60
Tabla 9	<i>Formato Toma de Datos para Turbiedad</i>	72
Tabla 10	<i>Formato Toma de Datos para Color</i>	72
Tabla 11	<i>Requisitos Físicos y Químicos del Agua para Consumo Humano</i>	73
Tabla 12	<i>Rango de pH del Agua para Consumo Humano</i>	73
Tabla 13	<i>Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)</i>	83
Tabla 14	<i>Resultados del Test de Jarras (Color)</i>	84
Tabla 15	<i>Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)</i>	86
Tabla 16	<i>Resultados del Test de Jarras (Color)</i>	87
Tabla 17	<i>Resultados Test de Jarras de Agua Cruda (Turbiedad)</i>	88
Tabla 18	<i>Resultados de Test de Jarras (Color)</i>	88
Tabla 19	<i>Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)</i>	89
Tabla 20	<i>Resultados del Test de Jarras (Color)</i>	90
Tabla 21	<i>Resultados Test de Jarras (Turbiedad)</i>	91
Tabla 22	<i>Resultados del Test de Jarras (Color)</i>	92
Tabla 23	<i>Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)</i>	93
Tabla 24	<i>Resultado Test de Jarras (Color)</i>	93

Índice de Ecuaciones

(Ecuación 1): <i>Reacción de Coagulación del Sulfato de Aluminio.</i> _____	28
(Ecuación 2): <i>Hidrolisis del sulfato de aluminio.</i> _____	28
(Ecuación 3): <i>Reacción cloruro férrico con alcalinidad del agua.</i> _____	29
(Ecuación 4): <i>Reacción sulfato ferroso con la alcalinidad del agua.</i> _____	29
(Ecuación 5): <i>Reacción del sulfato férrico con la alcalinidad del agua:</i> _____	30
(Ecuación 6): <i>Balance de Masas</i> _____	40
(Ecuación 7): <i>Ecuación Despejada Balance de Masas</i> _____	41
(Ecuación 8): <i>Porcentaje de remoción de turbiedad</i> _____	42
(Ecuación 9): <i>Porcentaje de remoción de color</i> _____	42

Abreviaturas:

PTAP-T: Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbiedad

UPC: Unidades Platino-Cobalto

Dedicatoria

Alex Santiago Belduma Ochoa

Este trabajo de titulación va dedicado a las personas más importantes y que más amo en mi vida, mi madre Rosario Ochoa y a mi padre Luis Belduma, quienes siempre estuvieron en mi vida brindándome su amor incondicional, apoyo y consejos.

Karla Adriana Camposano Chica

Martín y Katy mis padres, compañeros, guías y mi más grande inspiración, les dedico este trabajo junto con todos mis logros y alegrías. Han sido, son y serán mi motor y motivación. Nicole mi hermana, luz de mi vida.

Agradecimiento

Alex Santiago Belduma Ochoa

Agradezco de manera muy especial a mis padres, quienes me brindaron todas las herramientas necesarias para finalizar la carrera. Así mismo agradezco a mis hermanos, no de sangre, pero sí de calle y vida, a Adriana, Jahir, Joe, Karen, Milcar, Paul.

Karla Adriana Camposano Chica

Martín y Katy gracias por el amor, la paciencia y por apoyarme sin condición. Nicole y Beatriz por ser mi soporte y apoyo incondicional. A quienes estuvieron durante este proceso, gracias por el apoyo, el cariño y los recuerdos. De manera especial a Selena, Juan y Santiago.

Adriana y Santiago.

Agradecemos de manera especial a la Ing. Alexandra Guanuchi por su apoyo y guía como tutora del trabajo de titulación y docente durante la carrera.

Al Ing. Juan Diego Espinoza por su apoyo como jefe de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán.

Capítulo I

1 Introducción

1.1 Antecedentes

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán PTAP-T, se encuentra ubicada en el sector rural Tixán que pertenece a la parroquia Chiquintad del cantón Cuenca. Esta abastece de agua potable a la parte norte de la ciudad, su fuente de abastecimiento es el río Machángara, la captación del agua cruda nace de la descarga de agua de la central hidroeléctrica Saymirín a partir de un canal, el que es usado para el abastecimiento a la planta y riego en el sector (Martínez, 2016; Ordoñez, 2015).

El agua cruda de ingreso a la planta es afectada por deslizamientos de tierra del río Soroche esto permite el incremento de impurezas y materia orgánica. El principal inconveniente con esta contaminación es el aumento de la concentración de hierro y magnesio generando no solo daño en el sistema del agua potable (tuberías y redes de distribución) sino también en el deterioro físico del agua, para solucionar este problema se realiza un proceso de pre oxidación con la dosificación de permanganato de potasio que se coloca en el agua cruda al ingreso de la planta (Martínez, 2016; Ordoñez, 2015).

La PTAP-T se encuentra conformada por dos módulos (I y II); el primer módulo presenta una tecnología convencional con procesos de coagulación, floculación, decantación, filtración rápida y desinfección. Como coagulante se usa sulfato de aluminio tipo B y tiene un caudal de 1100 L/s. El módulo II está conformado con características similares al módulo I, es decir, con una línea de tratamiento de ciclo completo con coagulación química, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, este está diseñado para el uso de coagulante sulfato de aluminio tipo A y tiene un caudal de ingreso de 840 L/s. Dentro de la planta se trabaja con los dos módulos, pero solo se usa el coagulante sulfato de aluminio tipo B, es por eso que requiere construir la curva de dosificación para el coagulante sulfato de aluminio tipo A en el módulo II de la planta (Martínez, 2016; Ordoñez, 2015).

En el proceso de coagulación y floculación se debe alcanzar la mayor remoción de impurezas, es por eso que el tipo de coagulante que se usa es importante, no solo para la efectividad del proceso de remoción, sino también que genere menores costos de operación. Encontrar la dosis óptima es clave para asegurar que el proceso de coagulación y floculación sea eficiente, mediante la construcción de una curva de dosificación (Moreno et al., 2021; Núñez, 2018).

1.2 Problemática

Debido al rápido crecimiento de la población mundial y la creciente necesidad de recursos, está en juego toda la capacidad de la Tierra para proporcionar recursos suficientes de manera que satisfaga a todos sus habitantes. Todas las actividades económicas relacionadas con la población humana tienen un impacto global creciente en el medio ambiente, especialmente la escasez y la contaminación de las fuentes de agua disponibles, este es uno de los problemas difíciles debido a su impacto en el desarrollo económico, desarrollo sostenible y recursos humanos. Las ciudades se están volviendo densamente pobladas y, a medida que crecen los edificios, el transporte y las actividades relacionadas, también crece la demanda de energía, agua y recursos (Ünal et al., 2021).

El agua se utiliza para apoyar el funcionamiento y la salud de los humanos, es decir, en la agricultura, la industria, el suministro de agua urbano y los sistemas de drenaje. Sin embargo, su disponibilidad puede ser limitada debido al uso generalizado y al aumento de la contaminación (Bagastyo et al., 2023). La purificación del agua (potabilidad y tratamiento) es una forma importante de proteger los recursos hídricos naturales, los ecosistemas y la salud humana, que ha mejorado con el desarrollo de la ciencia y la tecnología. El desarrollo económico y el crecimiento demográfico han impuesto métodos de tratamiento más rigurosos. El proceso clásico de tratamiento por floculación y coagulación mejora la calidad físico-química del agua tratada (Skotta et al., 2023).

El proceso de coagulación y floculación es considerado como el más importante en la potabilización del agua, ya que se encarga de eliminar las impurezas orgánicas e inorgánicas desde 0,1 hasta 100 micras de tamaño (Saxena & Brighu, 2020). Las ventajas son: buena eficiencia de remoción y facilidad de uso. Por otro lado, la dificultad radica en la selección de las condiciones experimentales que afectan la eficiencia del proceso tales como pH, dosificación del agente coagulante-floculante, velocidad y tiempo de agitación y tiempo de sedimentación (Bouyakhsass et al., 2023).

1.3 Justificación

El acceso a consumir agua de calidad (potable) está considerado como un derecho humano y fundamental según la constitución del estado ecuatoriano del 2008, razón por la cual cada municipio se hace cargo de la distribución. En ciudades grandes como Cuenca, se cuenta con la prestación de servicios públicos como son: agua potable, alcantarillado y depuración de aguas residuales para su provisión responsable. Cuando hablamos de agua de calidad o agua potable esta debe pasar por una serie de tratamientos y procesos que permitan obtenerla bajo la normativa que establece cada país (Martínez, 2019).

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán es una de las plantas que abastece de agua potable a la ciudad de Cuenca, esta pertenece a la empresa de prestación de servicios públicos ETAPA EP, para su eficiente prestación y mejoramiento de servicio planificó la ampliación de la PTAP-T con la construcción de un segundo módulo el que incrementa la producción de agua de la planta a 1100 l/s acrecentando la capacidad de la planta, mejorando y optimizando el proceso de tratamiento del agua cruda (Ordoñez, 2015).

Para el proceso de coagulación y floculación existen una gran variedad de coagulantes, en la PTAP-T se usa el coagulante sulfato de aluminio tipo B, pero se requiere hacer un cambio por el sulfato de aluminio tipo A en el módulo II. De manera que se demanda obtener la dosificación de coagulante adecuada, la misma que debe garantizar bajos costo de operación y mayor remoción de turbiedad y color.

Cuando se usa como coagulante el sulfato de aluminio, la OMS sugiere que las cantidades de aluminio estén bajo los valores establecidos; plantas pequeñas $\leq 0,2$ y las grandes $\leq 0,1$. Según Lazo (2020), "Es importante que se implementen prácticas de optimización como las siguientes: Optimización del pH en la coagulación, ajuste de los gradientes de floculación, control de proceso para remoción del aluminio por medio de filtración" (p.4).

1.4 Objetivos

Objetivo General.

Obtener una curva de dosificación de coagulante tipo A, para el módulo II de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán y analizar los costos dentro del proceso de coagulación con los dos tipos de sulfato de aluminio (A y B).

Objetivos Específicos.

- Preparar agua sintética con características similares al agua cruda que entra a la Planta de Tratamiento de Agua Tixán, variando los valores de turbidez.
- Recolectar muestras del agua cruda que ingresa a la Planta de Tratamiento de Agua Tixán con diferentes valores de turbidez.
- Elaborar pruebas de jarras para determinar la dosis adecuada del coagulante tipo A tanto del agua sintética como del agua cruda.
- Realizar el análisis estadístico y obtención de las curvas de dosificación con agua sintética y agua cruda usando el coagulante sulfato de aluminio tipo A en el programa Excel.
- Analizar la relación costo- beneficio entre el coagulante tipo A y el coagulante tipo B; ya utilizado dentro de la planta.

Capítulo II

2 Marco Teórico

2.1 Agua

2.1.1 *Concepto*

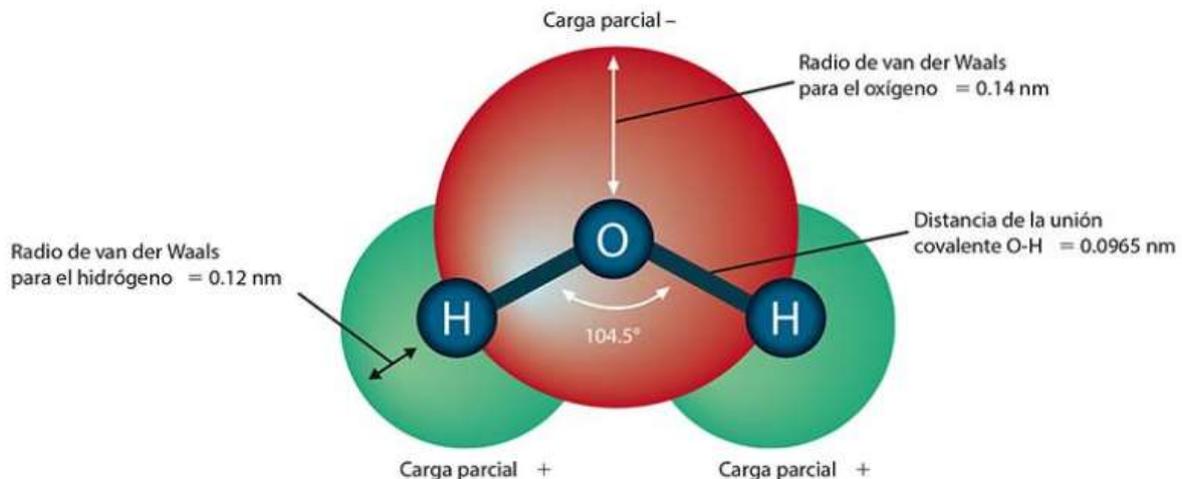
Según la Real Academia Española (2001), la definición de “agua” es la siguiente:

Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales (Real Academia Española, 2001, Definición).

2.1.2 *Estructura Molecular del Agua*

La molécula de agua se forma a partir de la unión de dos átomos de hidrógeno con un átomo de oxígeno (Figura 1). Es líquida a temperatura ambiente, tiene muy buena cohesividad y una gran capacidad como solvente. La estructura geométrica del agua es tetraédrica gracias a su hibridación sp^3 , la distribución de los átomos de hidrogeno y oxígeno es desigual por la diferencia de electronegatividad. Los átomos de hidrogeno están unidos al átomo de oxígeno el cual se encuentra en el centro del tetraedro y se acomoda de manera que los átomos de hidrógeno están en los vértices con enlace covalente sencillo. Las moléculas de agua son muy polares ya que las moléculas de agua son pequeños dipolos (Martínez et al., 2018; McKee & McKee, 2014).

Figura 1

Estructura de una Molécula de Agua

Nota. Adaptado de Bioquímica de Laguna y Piña (p.71) por Federico Montes, 2018, El Manual Moderno. Estructura de una molécula de agua. Las uniones covalentes entre el oxígeno y los hidrógenos se esquematizan con las líneas gruesas y se incluye la distancia que tiene cada unión covalente. Se anota el ángulo de los enlaces covalentes; también se indica la polaridad, distribución desigual de cargas en las distintas partes de la molécula. Asimismo, se anota los diferentes radios de van der Waals en varias partes de la molécula.

2.1.3 Ionización

En el agua los compuestos no se encuentran con su molécula entera, estos se ionizan total o parcialmente, es decir, las sustancias al disolverse en el agua se ionizan o fraccionan en átomos o grupos de átomos con carga positiva y negativa. Como ejemplo, el sulfato de aluminio se disocia en catión aluminio y anión sulfato (Arboleda, 2000).

2.1.4 Sustancias Dispersas en el Agua

Según Eunice & Choque (2016) las sustancias pueden estar una dentro de otra de maneras diferentes:

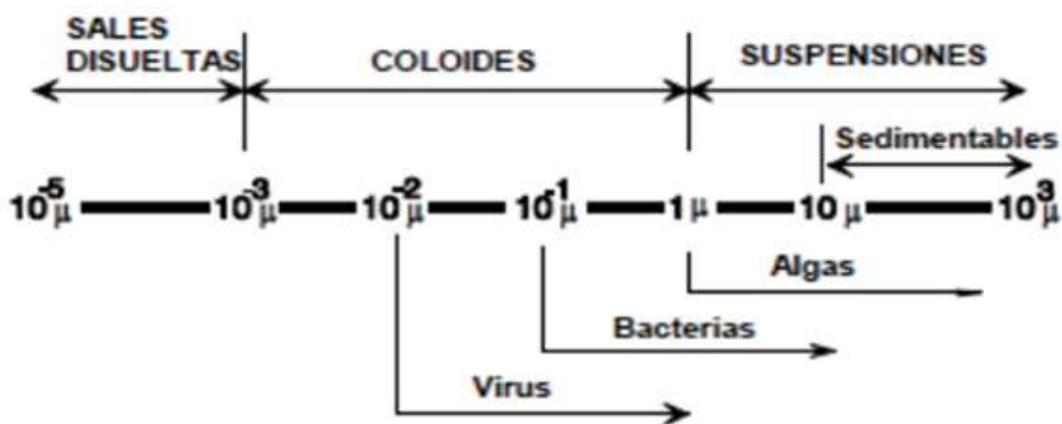
1. Una sustancia A contiene una molécula, la que se encuentra dispersa en una sustancia B. Lo que indica que una sustancia A estaría disuelta internamente de la sustancia B.
2. En el interior de una sustancia B se pueden encontrar partículas o gotitas de la sustancia A. Lo que indica, la sustancia A se encuentra en estado coloidal al interior de la sustancia B.

3. En el interior de la sustancia B se encuentran flotando partículas relativamente grandes de la sustancia A. Indicando que la sustancia A se encuentra en suspensión con la sustancia B.

Al hablar de tamaños de las partículas que se disgregan uno dentro de otro existe una clasificación que se muestra en la Figura 2

Figura 2

Clasificación e Intervalos de Tamaños de Partículas presentes en el agua



Nota. Adaptado de Ensayo de Coagulación Floculación, por Molina & Jácome, 2008.

2.2 Parámetros Físicos del Agua

2.2.1 Color

El color es la impresión ocular causada por la materia orgánica presente en el suelo o ácidos húmicos. Se pueden distinguir dos clases de color, el que posee el agua natural o el agua cruda, denominado color aparente y el color que queda después del proceso de filtración denominado color verdadero (Ching & Corrales, 2016). El color verdadero depende solamente del agua y sustancias disueltas, mientras el “aparente” es el que incluye las partículas en suspensión (García, 2021).

2.2.2 Turbiedad

Disposición de un líquido de dispersar un rayo de luz. Generalmente, se expresa en NTU que significa unidades nefelométrías de turbiedad. El equipo utilizado para la medición de este parámetro es denominado turbidímetro o nefelómetro (Calle & Zambrano, 2015).

Principalmente, las arcillas en dispersión son las causantes o producen la turbidez. Cuando hablamos de arcillas, se refiere a tierra fina aproximadamente de 0.002 mm o menos que

requieren cierta cantidad de agua para adquirir plasticidad. En una planta de potabilización la remoción de la turbiedad es un proceso aparentemente sencillo, pero, es uno de los más influyentes en los costos de producción, por el uso de coagulantes, floculantes, acondicionarlos del pH (Calle & Zambrano, 2015).

2.2.3 Conductividad

La conductividad eléctrica del agua se mide a través de la conductividad. La presencia de partículas inorgánicas, incluidos iones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato (iones cargados negativamente) o sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio impacta la disolución de la conductividad del agua (iones cargados positivamente). La temperatura tiene un efecto sobre la conductividad: cuanto mayor sea la temperatura del agua, mayor será la conductividad (Naseem et al., 2022).

2.2.4 pH

Los líquidos a menudo se describen en términos de pH. No obstante, cabe recalcar que los fluidos acuosos se podrían detallar en términos de pOH debido a que la disociación del agua pura produce ligeramente no solo ácido (H^+) sino también base (OH^-), con un valor de equilibrio de 10^{-14} . El valor de equilibrio expresa que el agua pura se disociara en concentraciones iguales de ácido $[H^+]$ y base $[OH^-]$. Aunque este equilibrio depende del parámetro de la temperatura. Cuando el agua se encuentra en equilibrio con la atmósfera es naturalmente ácido debido a la reacción que se lleva a cabo del CO_2 gaseoso y el agua produciendo ácido carbónico disminuyendo el pH del agua (Bowman et al., 2023).

2.2.5 Olor-Sabor

Ocasionado por la presencia de sustancias químicas volátiles y materia orgánica en descomposición (Carreño et al., 2020).

2.2.6 Sólidos Totales Disueltos

La concentración total de sólidos solubles y compuestos solubles en agua se denomina TDS. Estos se componen de sales inorgánicas y trazas de materiales biológicos (Gómez, 2021).

2.2.7 Dureza Total

La dureza del agua se relaciona con la cantidad de Ca y Mg disueltos en agua. En aguas duras, las sales disueltas, en particular calcio y magnesio, son severas. Las formaciones

rocosas calcáreas dan procedencia a estos minerales, pueden ser encontrados en las aguas naturales en menor o mayor grado (Goicochea, 2022).

2.3 Parámetros Químicos del Agua

2.3.1 Alcalinidad

Indica la capacidad de neutralizar los ácidos del agua. La alcalinidad es causada por la presencia de uno o más iones de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. Los coagulantes orgánicos durante el proceso de clarificación de agua no disminuyen la alcalinidad en comparación con los coagulantes sintéticos, es por ello que se pueden omitir ajustes de pH después del tratamiento (Limongi & Mendoza, 2022).

2.3.2 Acidez

Indica la capacidad para reaccionar con iones hidróxidos y para ceder protones. El agua ácida es todo tipo de agua en donde poseen altas concentraciones de sulfatos, éstas presentan un elevado nivel de metales pesados y un pH menor a 7, a qué se debe tener presente una relación que hay entre el dióxido de carbono y el ion bicarbonato, ya que éstos afectan directamente al pH y cuál más elevado es su relación en la acidez del agua será más elevada (Reyes, 2019).

2.3.3 Temperatura

La actividad biológica o microbiana, precipitación de compuestos, absorción de oxígeno, procesos de mezcla, floculación, sedimentación, filtración y desinfección son afectados por la temperatura, por lo que es considerado uno de los parámetros físicos más importantes (Calle & Zambrano, 2015).

2.4 Potabilización del Agua

La potabilización es un conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda para modificar sus propiedades organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas con el propósito de hacerla apta para el consumo humano (Guncay, 2019).

2.4.1 Agua Potable

Se define como agua potable, al agua tratada previamente que pueda ser consumida sin presentar riesgos o peligro a la salud del ser humano. El agua potable para convertirse en idónea para el consumo, debe pasar por las etapas de potabilización y controles de calidad (Valle, 2019).

2.4.2 Agua Cruda

Es aquella que no ha sido tratada o ha recibido un proceso de purificación para su consumo, generalmente se encuentra contaminada con impurezas ya sean no filtrables o en suspensión, filtrables o disueltas y coloides. Estas partículas generan variaciones en las medidas de turbiedad y color. La contaminación de las fuentes naturales de captación del agua se da principalmente por los cambios climáticos, entre ellos, las excesivas lluvias provocando un arrastre de la materia orgánica de los suelos por ende la polución del agua (Montoya et al., 2012).

2.5 Tratamiento del Agua Cruda

Cuenta con varios procesos físicos, químicos y biológicos que son los encargados de retirar, eliminar y/o reducir la contaminación de la misma, teniendo como objetivo la obtención de agua para consumo humano tal como lo indican los requisitos de la norma INEN NTE 1108.

El proceso para tratamiento del agua más importante es la coagulación y la floculación, se encargan de remover las partículas que no se sedimentan fácilmente. En estos procesos no solo se remueven las partículas que producen la turbiedad, sino también los microorganismos que se adhieren a las partículas. Sus desventajas son: costos de adquisición, producen grandes cantidades de lodos y generalmente afectan al pH del agua tratada (Rodríguez et al., 2022).

2.5.1 Coagulación:

La coagulación tiene como objetivo la desestabilización eléctrica de las coloides; partículas que se encuentran en el agua, las cuales en la superficie generan una atracción de iones de carga opuesta y son los principales generadores de turbidez y color en el agua cruda, están sometidas a dos fuerzas que son: fuerzas de atracción de Van der Waals y fuerzas de repulsión electrostáticas. Los coloides al presentar carga negativa se repelen entre partículas lo que no permite que se aglomeren y se formen partículas de mayor tamaño de manera que permitan su rápida sedimentación, es por eso que se usan los coagulantes, estos permiten la neutralización de las cargas mediante una intensa agitación de manera que la desestabilización permita una mayor aglomeración y facilidad para la formación de flóculos, siendo más sencilla la sedimentación (Barajas & León, 2015; Ghafari et al., 2009).

La mezcla rápida es el proceso que simula la coagulación en una planta, mediante el movimiento permite el contacto del coagulante con las partículas coloidales del agua de

manera que se produzca la neutralización de las cargas su desestabilización y aglomeración en un pequeño período de tiempo (Velásquez, 2021).

2.5.1.1 Factores que Influyen en el Proceso de Coagulación:

Según Izquierdo (2015) los factores que influyen en la coagulación son:

Concentración de Coloides: Turbiedad y color

Tamaño de Partículas: El tamaño aceptable para las partículas es de 1 micra, las que tienen entre 1 a 5 micras actúan como núcleos de los floc y las que tienen diámetros mayores ya no son parte del floc por ser muy grandes.

Temperatura: A mayor temperatura se sabe que el choque entre partículas es mayor, provocando una mejor formación de flóculos. También son importantes la turbiedad y alcalinidad.

Tipo de Coagulante: Esta selección depende de las pruebas a nivel laboratorio que se realicen en la planta que se vaya a usar.

Dosis Óptima: Encontrar la cantidad adecuada de coagulante que sean técnica y económicamente viables, depende de la concentración de coloides que tenga el agua; a mayores concentraciones se requiere un aumento en la cantidad de coagulante.

Concentración Óptima: En este caso el principal problema es que la diferencia entre la dosis de coagulante y la cantidad de agua a tratar es amplia, es por esto que se recomienda que haya turbulencia suficiente y la solución esté bien diluida de manera que haya una rápida remoción.

pH: Es importante trabajar en el rango de pH con el que el coagulante genera una buena floculación en menor cantidad de tiempo.

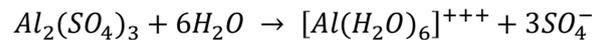
2.5.1.2 Tipos de Coagulantes

Sulfato de Aluminio: Químicamente es una sal, usada como coagulante en el tratamiento de aguas ya sean para consumo o aguas residuales. Su función es la de agrupar los sólidos suspendidos en agua que generan la turbidez y el color, de manera que puedan sedimentar rápidamente. Se presenta como: sólido o líquido (Leal & Granados, 2018).

Según Arboleda (2000) teóricamente la fórmula del sulfato de aluminio viene dada por $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$, la concentración de este coagulante se expresa por el contenido de alúmina (Al_2O_3). La mayor efectividad la presenta en intervalos de pH entre 6 a 8.

El sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) por su composición, cuando se disuelve en el agua se disocia en catión Al^{+++} y anión SO_4^- , el ion Al^{+++} , como se observa en la ecuación 1, por la carga positiva que tiene se va a neutralizar con los coloides que tienen carga negativa, se puede unir también con los OH^- del agua formando hidróxidos.

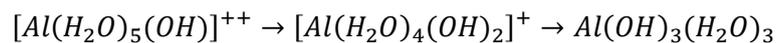
(Ecuación 1): *Reacción de Coagulación del Sulfato de Aluminio.*



Aplicando el concepto de ácido de Bronsted:

Los iones aluminio hidratados $[Al(H_2O)_6]^{+++}$ actuarán como ácido mientras que las bases actúan así: con la alcalinidad presente en el agua (OH^-), (CO_3), (HCO_3) con las moléculas de agua generalmente ya no se forman, puesto que ya reaccionan con la alcalinidad, pero si generando un consumo y una disminución del pH. El $[Al(H_2O)_5(OH)]^{++}$ es inestable y transitorio, como se observa en la ecuación 2.

(Ecuación 2): Hidrolisis del sulfato de aluminio.



Donde el hidróxido formado al final es insoluble precipita en intervalos de pH donde forma el floculo.

Los parámetros del sulfato de aluminio tipo A y tipo B se especifican en la Tabla 1.

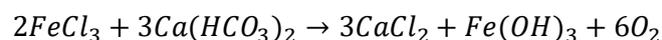
Tabla 1

Diferencia entre el Sulfato de Aluminio Tipo A y B

Parámetros	Sulfato de aluminio tipo A	Sulfato de aluminio tipo B	Método de análisis
	Especificación		
Alúmina Soluble Total Expresada como Al ₂ O ₃ %	17 % mínimo	15.3 % mínimo	INEN 1907
Basicidad Expresada como Al ₂ O ₃ %	0.05 % mínimo	0.025% mínimo	INEN 1906
Hierro Soluble Total Expresado como Fe ₂ O ₃ %	0.01 % máximo	0.75 % máximo	INEN 1908
Materias Insolubles en agua %	0.5 % máximo	10 % máximo	INEN 1905
Granulometría			
Malla # 4	100 %	100 %	—

Cloruro férrico: Se presenta de forma líquida para el tratamiento de agua $2FeCl_3 \cdot 6H_2O$. La reacción que explica el coagulante se observa en la ecuación 3:

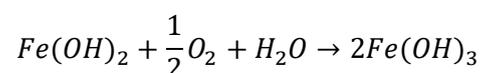
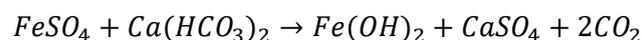
(Ecuación 3): *Reacción cloruro férrico con alcalinidad del agua.*



Formando hidróxido facilitando el precipitado (Vargas, 2004).

Sulfato Ferroso: Para el tratamiento del agua se usa como polvo, la reacción se observa en la ecuación 4, tiene un contenido de 19% de hierro, es ácido (Vargas, 2004).

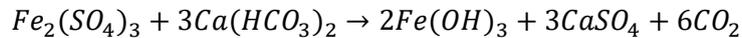
(Ecuación 4): *Reacción sulfato ferroso con la alcalinidad del agua.*



El $Fe(OH)_2$ se oxida en $Fe(OH)_3$.

Sulfato Férrico: Se presenta como polvo para el tratamiento del agua, reacción en la ecuación 5. Por su composición es propenso a formar H_2SO_4 se debe considerar la acidez (Vargas, 2004).

(Ecuación 5): *Reacción del sulfato férrico con la alcalinidad del agua:*



En el proceso de operación en una planta de tratamiento el proceso de coagulación se lo hace con la mezcla rápida, ya que esta, mediante el movimiento permite el contacto del coagulante con las partículas coloidales del agua de manera que se produzca la neutralización de las cargas su desestabilización y aglomeración en un pequeño período de tiempo (Velásquez, 2021).

2.5.2 Floculación

El proceso de la floculación es básicamente la unión o la agrupación de las partículas neutras para darles mayor peso y tamaño de manera que faciliten la sedimentación, eso se puede dar por diversos factores como pueden ser: por colisión, ya que las fuerzas de Van der Waals van a tener mayor fuerza sobre las de repulsión generando disminución de la repulsión eléctrica, otra es que sea orto cinética, es decir, por fuerzas externas que en este caso puede ser el movimiento de un agitador y la gravedad y el peso de las partículas, esta mezcla debe ser lenta para una mejor formación de flóculos y que no se rompan (Lorenzo, 2006).

En el proceso de potabilización la mezcla lenta tiene como objetivo la floculación, la velocidad disminuye de manera que los flóculos se logren aglomerar aumentando de tamaño con facilidad y no se rompan, este aumento de peso agiliza el proceso de sedimentación. El tiempo para este proceso no debe superar los 20 minutos ya que por el movimiento en un tiempo excesivo se produce calentamiento, este favorece la floculación, pero afecta a la sedimentación por la liberación de gases disueltos en el agua produciendo burbujas, estas se fijan en los flóculos y hacen que floten (Lorenzo, 2006; Núñez, 2014).

2.5.3 Sedimentación

Según Olortegui (2019) indica que la sedimentación tiene como objetivo separar las partículas que tienen una mayor densidad que el agua, esta separación debe ser en la menor cantidad de tiempo de manera que el proceso sea económicamente viable dentro de la planta de tratamiento.

Tipos de Sedimentación

Simple: Es el asentamiento de las partículas que no varían en forma, tamaño o densidad durante el proceso.

Inducida Producida por la sedimentación de las partículas que, sí varían en su forma, tamaño y aumento de peso específico, es decir, las partículas que se van aglomerando durante el proceso y se da posterior a la coagulación y floculación.

La sedimentación o decantación es el proceso de remoción de las partículas ya coaguladas y floculadas para la clarificación del agua, las partículas que se remueven son sólidos inorgánicos y orgánicos el factor principal en este proceso es la velocidad con la que sedimenta y esto depende del tamaño forma y densidad de las partículas floculadas.

2.5.4 Filtración

La filtración es un proceso complementario de la sedimentación, ya que permite remover las partículas y los microorganismos que no se hayan retirado durante la sedimentación. Estos están confirmados por distintos materiales según el tipo de agua que se vaya a tratar entre los principales materiales tenemos: grava, arena, antracita, carbón activado, entre otros. El sentido del flujo del filtro también es un factor importante que considerar. Puede ser flujo descendente, ascendente o mixto (Claros, 2022).

2.5.5 Desinfección

La desinfección es el último proceso dentro del tratamiento del agua y es el encargado de eliminar a los organismos patógenos, los factores a considerar en este proceso son las características físicas del agua y la concentración de organismos. Para la desinfección la cloración es el método más usado por su efectividad. Los procesos anteriores preparan al agua para este último paso a que van disminuyendo la carga bacteriana (Claros, 2022).

2.6 Pruebas de Jarras

La prueba de jarras es una técnica que sirve para simular a nivel de laboratorio el proceso de coagulación, floculación y sedimentación de una planta de tratamiento de agua y permite determinar la dosis óptima de coagulante y floculante que se debe usar a diferentes valores de turbiedad y dosis de coagulante. Es importante considerar las condiciones operaciones a las que trabaja la planta para hacer las pruebas (Chele, 2019).

2.6.1 Dosis Óptima

Para el proceso de coagulación es importante encontrar la dosis adecuada o la dosis óptima de coagulante que se debe dosificar para las diferentes variaciones de turbiedad del agua cruda ya que si se usa una cantidad menor o una baja cantidad de coagulante la carga de la partícula no se neutraliza totalmente generando la formación de microflóculos escasos y a su vez una alta turbiedad, mientras que si se usa una alta cantidad de coagulante se produce una inversión de la carga de la partícula donde se formarán microflóculos muy pequeños con velocidades de sedimentación baja de manera que la turbiedad se mantiene elevada. Se deben considerar los factores que influyen en la coagulación. Para determinar la dosis óptima de coagulante se realiza mediante pruebas de jarras (Andía, 2000).

2.7 Generalidades de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán.

La PTAP-T está situada en el sector rural Tixán, perteneciente a la parroquia Chiquintad, a una altitud de 2692 m.s.n.m, en las coordenadas WGS84: X= 723118 Y= 9686744 (Figura 3). Aproximadamente el 44 % de la población cuencana consume agua potable suministrada por la PTA-T. El agua cruda empleada para el proceso de potabilización de la PTAP, proviene de la descarga de la central hidroeléctrica de Saymirín. El acceso a la PTAP-T se realiza por la vía Parque Industrial Cuenca-Chiquintad, hasta la altura Ochoa León y luego por la vía Ochoa León – Tixán, a una distancia de 1 Km aproximadamente (Ordoñez, 2015).

Figura 3

Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán



Nota. Adaptada de Google Earth 2023

La PTAP-T consta de los siguientes procesos:

2.7.1 Pre Oxidación

La técnica de pre oxidación remueve contaminantes orgánicos como sustancias húmicas e inorgánicas como los metales, también para la reducción de problemas causados por las floraciones cianobacterianas (Silveira et al., 2021).

En la PTAP-T se utiliza el proceso de oxidación química (Figura 4) para la remoción del manganeso, mediante el uso del permanganato de potasio, que es aplicado al agua cruda al momento que ingreso a la planta (Ordoñez, 2015).

Figura 4

Etapa de pre oxidación del agua cruda al ingreso de la PTAP-T



2.7.2 Mezcla Rápida

Este paso consiste en mezclar el agua cruda que ha pasado por el proceso de pre oxidación con el coagulante. Se ejecuta al caer el coagulante de los vertederos que reparten a los módulos de la planta, como se observa en la Figura 5, luego se transporta el caudal con la mezcla hasta las unidades de floculación (Ordoñez, 2015).

Figura 5

Dosificación del Sulfato de Aluminio



2.7.3 Decantadores

Existe un total de ocho unidades, de tipo laminar, de placas planas paralelas, inclinadas de flujo ascendentes. El área total de las placas inclinadas es de 572 m². La recolección del agua decantada, como se muestra en la Figura 6 se realiza mediante tuberías perforadas, que descargan al canal central de la unidad (Ordoñez, 2015).

Figura 6

Sedimentadores



2.7.4 Baterías de Filtración

Está compuesta por 8 unidades, interconectadas en sus entradas a través del canal de distribución del agua decantada, las salidas mediante vertederos individuales. El sistema de baterías de filtros se observa en la Figura 7, opera bajo el método de tasas declinantes variable. El medio filtrante está compuesto por antracita y arena (Ordoñez, 2015).

Figura 7

Filtros de Antracita y Arena



2.7.5 Sistema de Desinfección

El sistema opera al vacío, al inicio de cada cámara de contacto es aplicada la solución de cloro, mediante un flujo pistón. El edificio de cloración se muestra en la Figura 8, está conformado por el área de dosificación y almacenamiento (Ordoñez, 2015).

Figura 8

Etapa de Cloración



Capítulo III

3 Metodología

3.1 Muestreo del Agua Cruda

En la toma de muestras se debe evitar la contaminación, además, mantener un adecuado transporte y conservación de las mismas. Es importante analizar el tipo de muestra y los parámetros que se estudiarán.

La recolección de cada muestra de agua cruda se realizó según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO. Para la conservación y manejo de las muestras de agua cruda se siguieron las técnicas de la norma NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

De acuerdo con la Norma Técnica INEN No. 2169 (2013) Los parámetros que se deben preservar en las condiciones adecuadas son: turbiedad, color y pH. Para tener los datos más precisos se debe medir in situ. Si no es posible medir in situ se debe considerar transportar la muestra en un recipiente que puede ser de vidrio o plástico.

Para determinar los parámetros físico químicos la norma INEN No. 2169 indica las siguientes consideraciones:

Color: Para la preservación de la muestra se debe refrigerar entre 1 °C y 5 °C, el tiempo máximo recomendado de preservación son 5 días en la oscuridad.

pH: El recipiente debe estar completamente lleno, es decir, sin aire. Para preservar la muestra esta se enfría entre 1 °C y 5 °C, el tiempo máximo recomendado de preservación son de 6 h.

Turbiedad: La muestra se enfría entre 1 °C y 5 °C, el tiempo máximo recomendado de preservación son 24 h y el almacenamiento debe ser en oscuridad.

Los recipientes que contienen las muestras deben estar correctamente rotulados, marcados de manera clara y permanente. Anotar los detalles del muestreo para un correcto análisis de los resultados, los datos que se colocaron son: fecha, hora, nombre de la persona que toma la muestra.

3.2 Recolección de las Muestras

Las muestras se tomaron de manera manual al ingreso de la PTAP-T durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo. Las muestras de agua cruda con mayor variación de turbiedad y color se utilizaron para construir la curva de dosificación con agua cruda, mientras que las muestras de agua para la curva de dosificación con agua sintética fueron preparadas en el laboratorio. Para transportar las muestras se usaron baldes de plástico HDPE oscuros con tapa que tienen una capacidad de 25 litros.

Proceso

Se tomó un balde plástico HDPE previamente lavado luego se homogenizó llenándolo y vaciándolo por al menos tres veces con agua cruda. Se tomó la muestra llenando completamente el envase de manera que el agua quede rebosando, para evitar que el aire se quede en el interior y se tapó. Se selló y etiquetó, como se muestra en la Figura 9. Finalmente, las muestras fueron transportadas al laboratorio. Este proceso se realizó repetidamente en cada recolección de muestras.

Figura 9

Recolección de muestras de Agua Cruda de la PTAP-T



3.3 Preparación de Agua Sintética

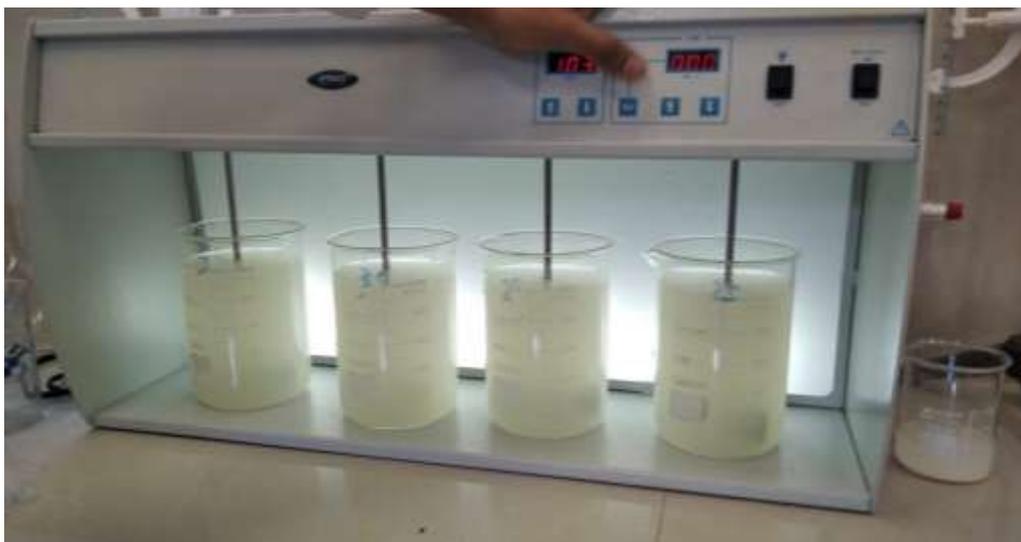
Para preparar agua sintética previamente se realizaron pruebas con diferentes tipos de tierra, estas al mezclarlas con el agua elevaban la turbiedad, pero su rápida sedimentación no permitió obtener buenos resultados. Pelayza (2022), en su trabajo de investigación utilizó arcilla (caolín) para la preparación del agua sintética, describiendo lo siguiente:

Proceso

En la Figura 10 se observa el agua sintética en el test de jarras. Esta se preparó agregando al agua cruda una disolución madre de caolín al 1% previamente preparada con agua destilada, para garantizar que las partículas de la arcilla estén hidratadas la solución se prepara 24 horas antes.

Figura 10

Agua Sintética



3.4 Proceso para Selección de Dosis Óptima

La selección de la dosis óptima se realiza a partir de las pruebas de jarras ya que simulan la coagulación y floculación, para ello se utiliza un equipo denominado Test de Jarras. El equipo que se utilizó en la presente investigación fue de marca ORBECO HELLIGE modelo ET 740, se observa en la Figura 29 (Anexo C). Los equipos usados para determinar parámetros de turbiedad, pH y color fueron: turbidímetro marca Hach 2100 Figura 30 (Anexo C), kit multímetro digital, electrodo pH gel y Conduct Std marca Hach HQ40D Figura 31 (Anexo C) y espectrofotómetro marca Hach 3900 Figura 32 (Anexo C), respectivamente.

Para la elaboración de las pruebas de jarras como reactivos se utilizó: Coagulante sulfato de aluminio tipo A, como se observa en la Figura 39 (Anexo G) y como floculante polímero preastol 2640 que se encuentra en la Figura 40 (Anexo G).

3.4.1 Preparación de reactivos:

Preparación de Sulfato de Aluminio 1%: Primero se debe pesar 1g de Sulfato de aluminio tipo A, luego disolver en agua destilada. Finalmente, aforar en un balón de 100ml. Es importante dejar reposar antes de usar. Esta solución debe ser preparada y usada diariamente.

Preparación de Polímero al 0,01%: Pesar 0,01g de polímero a continuación, colocar la muestra en un vaso de precipitación con agua destilada y disolver con la ayuda de una varilla de vidrio. Finalmente, aforar en un balón de 100ml.

3.4.2 Cálculo de coagulante en las pruebas de jarras:

Para realizar cada prueba es necesario calcular la cantidad de coagulante que se debe colocar en cada jarra, este volumen depende del valor de turbiedad con el que se esté trabajando. Para el cálculo utilizando la ecuación 6:

(Ecuación 6): *Balance de Masas*

$$V1 * C1 = V2 * C2$$

Donde:

V1= Volumen de la jarra 1 (l)

C1= Concentración de coagulante (mg/l)

V2= Volumen de aplicación de solución (ml)

C2= Concentración de la solución (mg/l)

Para las pruebas se trabajó con una solución de sulfato de aluminio tipo A al 1%, la capacidad de las jarras con las que se trabajó fue de 800 ml.

El volumen de solución que se debe colocar en cada jeringa se calcula con la ecuación 6 en donde se debe despejar V2 y variar la concentración C2 de acuerdo a la turbiedad.

El valor de V1 se convierte de ml a L:

$$800\text{ml a } 0,8\text{L}$$

Para el valor de C1 se usa la relación:

$$1\% = 10\,000 \text{ ppm}$$

El valor de C2 es el que varía dependiendo de la concentración deseada.

Para el valor de V2:

(Ecuación 7): *Ecuación Despejada Balance de Masas:*

$$V2 = \frac{V1 * C1}{C2}$$

3.4.3 Condiciones para las pruebas de jarras:

Las condiciones que se deben considerar para las pruebas en el laboratorio son: gradiente hidráulico, aplicación de reactivos y tiempos de mezcla rápida y lenta. La mezcla rápida se realizó a 300 rpm durante 1 minuto, en la mezcla lenta la velocidad fue de 50 rpm durante 20 minutos. Finalmente, el tiempo de sedimentación fue de 12 minutos. Los gradientes y tiempo se replicaron de los usados en la PTAP-T.

3.4.4 Pasos para la Selección de la Dosis Óptima:

Primero se prepararon las soluciones de: sulfato de aluminio y polímero luego se tomó la muestra traída de la PTAP-T y se homogenizó. En el caso del agua sintética está se preparó añadiendo la solución de caolín. Después tomamos una muestra de agua cruda o sintética (depende del ensayo) para medir los parámetros iniciales de pH, turbiedad y color, después se llena los vasos de precipitación con las muestras y se coloca en el test de jarras. Posteriormente, se calcula la dosis de coagulante que se va a colocar en cada jarra midiendo los volúmenes en jeringas; la dosis de floculante se calcula al inicio y se mantiene constante en todas las jarras y ensayos. Iniciamos la prueba con la mezcla rápida, el equipo debe estar encendido a 300 rpm por al menos 30 segundos, después de transcurrido ese tiempo se coloca la dosis de coagulante medida en la jeringa y se deja agitar por 1 minuto, luego continuamos con la mezcla lenta donde el equipo debe estar a 50 rpm, se coloca el floculante y se deja agitar por 20 minutos, como se observa en la Figura 11. Por último, para el proceso de sedimentación se retiran las paletas y se espera por 12 minutos, pasado este tiempo se toman muestras y se miden los valores finales de pH, turbiedad y color. Este proceso se repite hasta encontrar la dosis óptima. Las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Cuenca.

Figura 11

Ensayo de Jarras

3.5 Determinación del Porcentaje de Remoción

Esta determinación evalúa la eficiencia del coagulante, de manera que se puede medir la cantidad de las partículas turbiedad y color que se remueven. Los porcentajes de remoción de turbiedad y color están determinados por la ecuación 8 y 9, respectivamente.

(Ecuación 8): *Porcentaje de remoción de turbiedad*

$$\% \text{Remoción de Turbiedad} = \frac{\text{Turbiedad Inicial} - \text{Turbiedad Final}}{\text{Turbiedad Inicial}} \times 100$$

(Ecuación 9): *Porcentaje de remoción de color*

$$\% \text{Remoción de Color} = \frac{\text{Color Inicial} - \text{Color Final}}{\text{Color Inicial}} \times 100$$

Capítulo IV

4 Resultados y Discusiones

Para dosis óptima, los parámetros cuantitativos que se tomaron en cuenta son: pH, turbiedad y color. Según la norma INEN No. 1108 (2020) Los valores aceptables de pH deben encontrarse entre el rango de 6,5 a 8, la turbiedad debe ser menor o igual a 5 NTU y color debe tener valores menores o iguales a 15 UPC.

En el caso de que los valores de los parámetros de turbiedad y color no cumplan con los requisitos que indica la norma, se debe considerar que el agua es sometida a posteriores procesos de potabilización como son: filtración y desinfección. Estos también disminuyen la turbiedad y color. Si los valores de pH no cumplen con el rango establecido, se debe corregir este parámetro dentro del proceso de tratamiento en la planta aplicando cal (Chele, 2019).

4.1 Análisis de Resultados de Pruebas de Jarras para el Agua Sintética

En la Tabla 2 se presentan los resultados del agua sintética.

Tabla 2

Resumen de los Resultados del Agua Sintética

#Ensayo	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC)	pH Inicial	pH Final	Dosis Óptima (mg/l)
1	308	0,92	1207	4	7,04	6,18	40
2	440	1,15	1333	2	6,68	5,97	45
3	900	1,12	14200	18	6,95	5,86	60
4	350	0,81	2790	2	6,81	6,11	40
5	800	0,9	3330	12	6,63	6,04	55
6	200	1,53	1900	21	7,22	6,52	40
7	600	1,2	3030	9	7,02	6,5	50
8	501	1,2	2520	10	7,03	5,9	50
9	400	1,37	2200	60	6,73	6,05	45
10	18,3	1,91	168	23	6,85	6,33	20
11	27,5	7,33	158	17	6,31	6,1	25
12	52,3	1,45	315	1	6,67	6,52	30
13	94,2	0,99	620	0	6,57	6,52	35
14	102	2,16	720	2	6,74	6,52	40
15	63,9	1	463	5	7,08	6,07	30
16	70	1,24	459	5	7,44	6,89	35
17	35,7	0,99	255	0	6,91	6,09	25
18	8,72	1,1	82	3	6,26	6,16	20
19	718	1,61	3630	24	7,07	6,69	55
20	86,4	0,79	490	0	7	6,87	35

4.1.1 Ensayos del Mes de Marzo Agua Sintética

En el Tabla 15 y 16 (Anexo I) se muestra los resultados de los de las pruebas de jarras con agua sintética del mes de marzo con los resultados de turbiedad, color y pH. Los ensayos que presentaron particularidades fueron:

Ensayo 1 la muestra inicial presentó un valor de turbiedad de 308 NTU y 1207 UPC donde la dosis óptima para la turbiedad es de 40 mg/l con 0,92 NTU y para el color con las dosis de 50 mg/l y 55 mg/l se obtienen valores de 0 UPC, en este caso las dosis óptimas no coinciden, al observar la concentración de 40 mg/l en el color, se consigue 4 UPC el cuál se seleccionó debido a que este valor se encuentra en el rango que indica la norma.

En el ensayo 6 la muestra inicial presentó 200 NTU de turbiedad y 1900 UPC de color obteniendo como dosis óptimas 40 mg/l con 1,53 NTU y 30 mg/l con 20 UPC, las dosis óptimas no coinciden. Con la dosis de 40 mg/l en el color se obtiene 21 UPC, el cual se selecciona ya que no presentan gran diferencia.

Para el ensayo 11 la muestra inicial presentó un valor de turbiedad de 27,5 NTU y color de 158 UPC obteniendo como dosis óptima 25 mg/l con 7,33 NTU y 25 mg/l con 17 UPC superando el límite permisible, pero al realizar las réplicas podemos identificar que si existe una buena remoción del color con esta concentración ya que el rango de resultados esta entre 0 a 7 UPC.

4.1.2 Ensayos del Mes de Abril Agua Sintética.

En el Tabla 17 y 18 (Anexo I) se muestra los resultados de los de las pruebas de jarras con agua sintética del mes de abril con los resultados de turbiedad, color y pH. Los ensayos que presentaron particularidades fueron:

Ensayo 13 se trabajó con una muestra inicial de 94,2 NTU consiguiendo como dosis óptima el valor de 35 mg/l con la menor turbiedad de 0,99 NTU, mientras que el valor inicial de color fue de 620 UPC, con las dosis de 25 mg/l, 35 mg/l y 40 mg/l se obtienen valores de 0 UPC siendo estos los más bajos, pero se selecciona la concentración de 35 mg/l ya que esta da el menor valor de color y turbiedad con un pH de 6,52.

Ensayo 17 se trabajó con una muestra inicial de 35,7 NTU consiguiendo una dosis óptima de 25 mg/l con una turbiedad de 0,99 NTU para el color el un valor inicial fue de 255 UPC el cual con todas las concentraciones se obtuvo un valor de 0 UPC, pero se eligió la concentración de 25 mg/l ya que concuerda con la dosis óptima de turbiedad.

Ensayo 19 se trabajó con una muestra inicial de 718 NTU consiguiendo como dosis óptima el valor de 55 mg/l con un valor de turbiedad final de 1,61 NTU. El valor inicial de color es de 3630 UPC, con la concentración de 55 mg/l se obtiene un valor de 24 UPC en la selección

del color el valor que resulta menor no está dentro del rango permisible, pero al observar los valores obtenidos en las réplicas estos llegan al valor de 15 UPC.

Ensayo 20 la muestra inicial presentó un valor de turbiedad de 86,4 NTU con dosis óptima de 35 mg/l puesto que con esta concentración se consiguió la menor turbiedad de 0,79 NTU.

El valor inicial de color es de 490 UPC, con las dosis de 30 mg/l y 35 mg/l se obtienen valores de 0 UPC, siendo estos los más bajos, pero se selecciona la concentración de 35 mg/l ya que esta da el menor valor de color y turbiedad.

4.2 Análisis de Resultados de Pruebas de Jarras para el Agua Cruda

En la Tabla 3 se presentan los resultados del agua cruda.

Tabla 3

Resumen de los Resultados del Agua Cruda

# Ensayo	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC)	pH inicial	pH Final	Dosis Óptima (mg/l)
1	18,01	0,87	114	11	6,79	6,57	25
2	64,9	0,85	276	6	6,99	6,27	35
3	175	1,05	2340	13	6,57	6,24	40
4	48,8	0,69	265	7	6,98	6,64	35
5	499	0,88	1380	5	6,94	6,64	40
6	720	1,61	2980	7	6,3	5,89	45
7	43,9	1,01	297	5	6,33	6,05	30
8	617	2,17	2740	15	6,62	5,8	45
9	6,01	0,63	61	6	7,16	7,04	20
10	97,8	0,83	620	7	6,9	6,51	40
11	72,9	0,97	351	7	6,76	6,23	35
13	427	0,93	1080	6	6,68	6,34	40
14	298	1,32	1600	12	6,74	6,5	40
15	833	2,03	3431	17	6,45	6,1	45
16	950	1,84	3500	16	6,01	5,69	50

4.2.1 Ensayos del Mes de Febrero con Agua Cruda

En el Tabla 19 y 20 (Anexo J) se muestra los resultados de los de las pruebas de jarras con agua cruda del mes de febrero con los resultados de turbiedad, color y pH. El ensayo que presentó particularidades fue:

Ensayo 1, la muestra inicial presentó un valor de turbiedad de 18,01 NTU con una dosis óptima de 25mg/l se obtuvo el menor valor de turbiedad con 0,87 NTU. El valor inicial de color es de 114 UPC, con una dosis de 35mg/l se obtiene 8 UPC siendo este el valor más bajo, pero las dosis seleccionadas no coinciden, al observar el resultado con la concentración de 25mg/l en el color se obtiene 11 UPC, valor que se encuentra dentro del rango aceptable que indica la norma.

4.2.2 Ensayos del Mes de Marzo con Agua Cruda

En el Tabla 21 y 22 (Anexo J) se muestra los resultados de los de las pruebas de jarras con agua cruda del mes de marzo con los resultados de turbiedad, color y pH. El ensayo que presentó particularidades fue:

Ensayo 3, el valor inicial de turbiedad es de 175 NTU, con la dosis de 40mg/l se obtiene la menor turbiedad de 1,05 NTU. El valor inicial del color fue de 2340 UPC, con una concentración de 35mg/l se obtuvo el menor valor de 8 UPC, los valores de dosis óptimas no coinciden. Si se observa el resultado con la concentración de 40mg/l se obtuvo 13 UPC, valor que se encuentra en los límites permisibles y se selecciona.

4.2.3 Ensayos del Mes de Abril con Agua Cruda

En el Tabla 23 y 24 (Anexo J) se muestra los resultados de los de las pruebas de jarras con agua cruda del mes de abril con los resultados de turbiedad, color y pH. Los ensayos que presentaron particularidades fueron:

En el ensayo 8 el valor inicial de turbiedad es de 617 NTU, con la dosis de 40mg/l se obtiene la turbiedad más baja que es de 1,31 NTU, en este caso la selección de dosis óptima se determinó mediante el análisis de los valores de color y pH con una concentración de 45mg/l, con el cual se obtiene una turbiedad de 2,17 NTU que está dentro del límite permisible que indica la norma.

Ensayo 9, el valor inicial de turbiedad es de 6,01 NTU, con la dosis de 20mg/l se obtiene la menor turbiedad con un valor de 0,63 NTU. El valor inicial de color es de 61 UPC con la dosis de 35mg/l se obtiene el menor valor de 5 UPC, las dosis seleccionadas no coinciden, al observar los resultados de la concentración de 20mg/l se obtiene un valor de 6 UPC, este

valor no presenta gran variación, cumple con la norma, además, usa menor cantidad de coagulante.

En el ensayo 12 todos los valores de las jarras cumplen con la norma, dando una menor turbiedad la de 25mg/l con un valor de 0,68 NTU, siendo una concentración que pierde la secuencia de los datos que se obtuvieron con respecto a los valores de turbiedad anteriores, es por eso que se debe considerar los datos de color y pH para analizar este ensayo. El valor inicial de color es de 500 UPC, con la concentración de 30 mg/l, el resultado es de 5 UPC, para el análisis de los datos con respecto a la concentración de la dosis óptima los valores no concuerdan, pero tampoco se puede seleccionar alguno ya que el valor que se seleccione no sigue la secuencia de las concentraciones anteriores según los datos, este ensayo presenta incongruencia es por eso que se descarta.

4.2.4 Ensayos del Mes de Mayo con Agua Cruda

En el Tabla 25 y 26 (Anexo J) se muestra los resultados de los de las pruebas de jarras con agua cruda del mes de abril con los resultados de turbiedad, color y pH. Los ensayos que presentaron particularidades fueron:

Ensayo 14, el valor inicial de turbiedad es de 298 NTU, con la dosis de 40 mg/l se obtiene la menor turbiedad de 1,32 NTU. El valor inicial de color es de 1600 UPC, con una dosis de 30 mg/l se obtiene un valor de 8 UPC siendo este el valor más bajo, pero no concuerda con la concentración seleccionada en los resultados de turbiedad que fue de 40 mg/l, con este valor de concentración se obtiene 12 UPC, valor que se encuentra dentro del límite permisible y se selecciona.

Ensayo 16, el valor inicial de turbiedad fue de 950 NTU el cual con una dosis de 50 mg/l de coagulante dio como resultado 1,51 NTU siendo el valor más bajo. El valor inicial de color es de 3500 UPC, con la concentración de 45 mg/l se obtiene un valor de 13 UPC, pero no coincide con el valor de concentración seleccionada en la turbiedad que fue de 50 mg/l, con este valor de concentración se obtiene 16 UPC, seleccionado dicha concentración.

Selección de Dosis Óptima Turbiedad y Color:

En la turbiedad se remueven partículas suspendidas o coloides que resultan de la contaminación del agua con tierra, material arcilloso o limo, mientras que en el color las partículas responsables son hierro y magnesio (coloidal o en solución), presencia de materia orgánica, taninos, ácido húmico y en algunos casos la presencia de residuos de tipo industrial (Lazo & Verdugo, 2015).

Las dosis óptimas de turbiedad y de color coinciden facilitando su selección. Al tener un origen diferente tanto la turbiedad como el color, la formación de los flóculos en la coagulación también resulta diferente. El floc del color es extremadamente liviano y quebradizo, pero con la presencia de las partículas de turbiedad puede aportarle más peso de manera que el floc se vuelva más pesado; factor importante en el proceso de sedimentación (Arboleda, 2000; Jiménez & Medina, 2017). Cuando las dosis óptimas seleccionadas no coinciden se analizan los parámetros, resultados y tendencia de la curva.

4.3 Comportamiento de las Curvas por Rangos.

A continuación, se presenta una clasificación mediante rangos de los datos de turbiedad inicial con sus respectivas dosis óptimas de coagulante sulfato de aluminio tipo A.

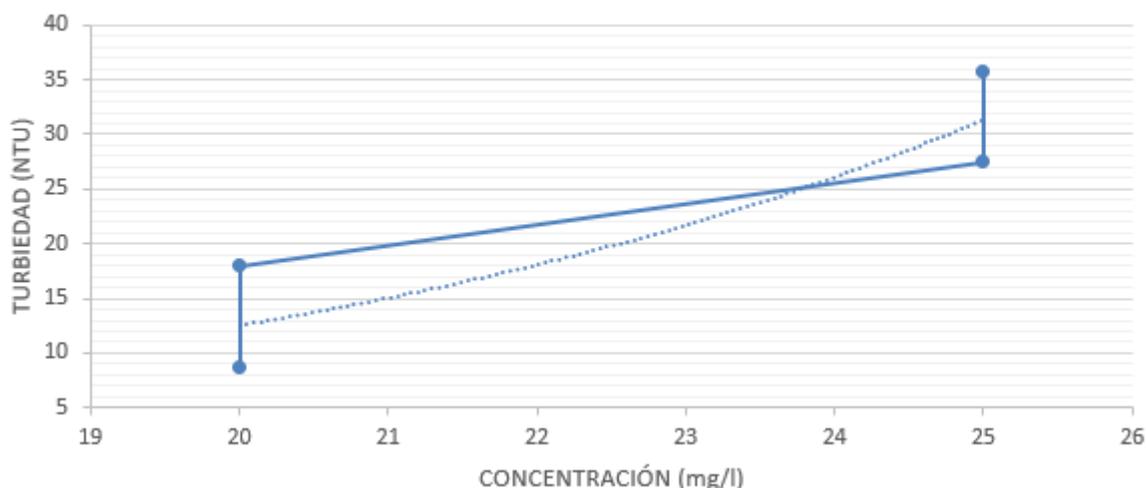
4.3.1 Comportamiento de la Curva con Agua Sintética

Las curvas fueron obtenidas a partir de los ensayos de pruebas de jarras con agua sintética entre el rango de 0 a 1000 NTU, se presenta el comportamiento de la concentración de dosis óptima vs turbiedad.

Turbiedad Inicial del Agua Sintética en un Rango Bajo de 0 a 50 NTU: El comportamiento de la curva en este rango se muestra en la Figura 12

Figura 12

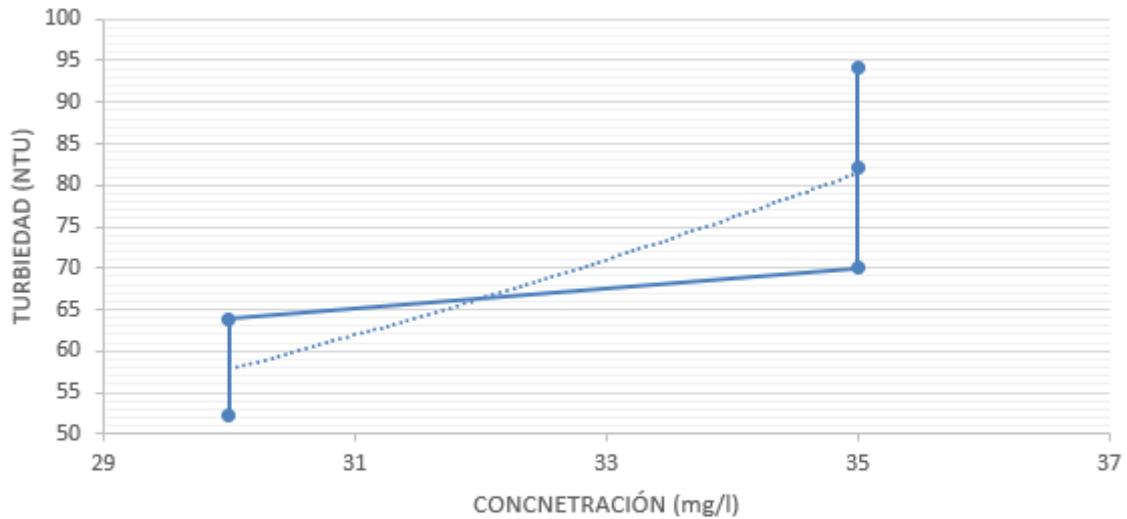
Curva Agua Sintética Rango de 0 a 50 NTU



Turbiedad Inicial del Agua Sintética en un Rango de Turbiedad Medio de 51 a 100 NTU: El comportamiento de la curva en este rango se muestra en la Figura 13

Figura 13

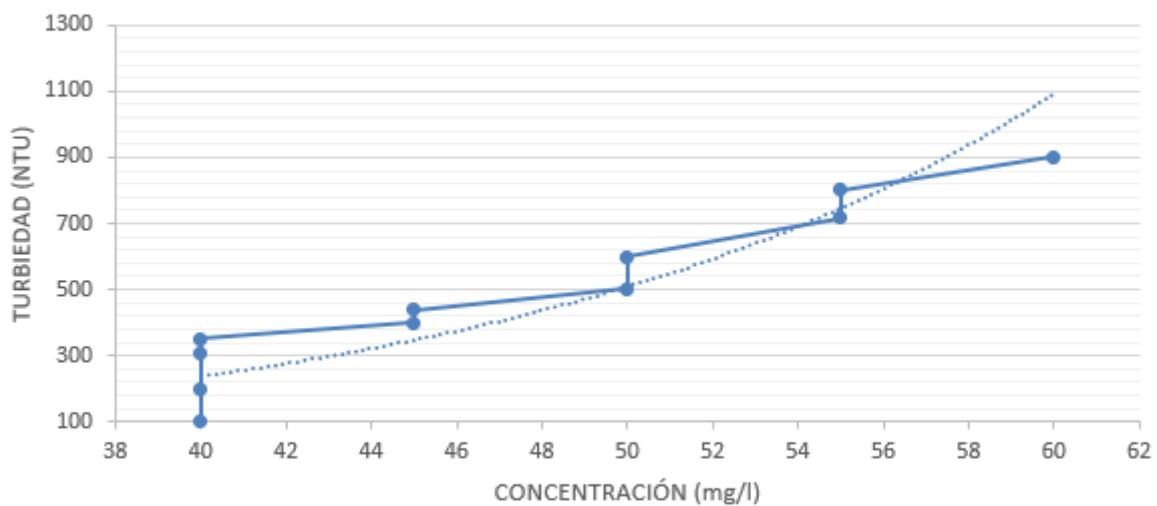
Curva Agua Sintética Rango de 51 a 100 NTU



Turbiedad Inicial del Agua Sintética en un Rango de Turbiedad Alto de 101 a 1000 NTU: El comportamiento de la curva en este rango se muestra en la Figura 14

Figura 14

Curva Agua Sintética Rango de 101 a 1000 NTU

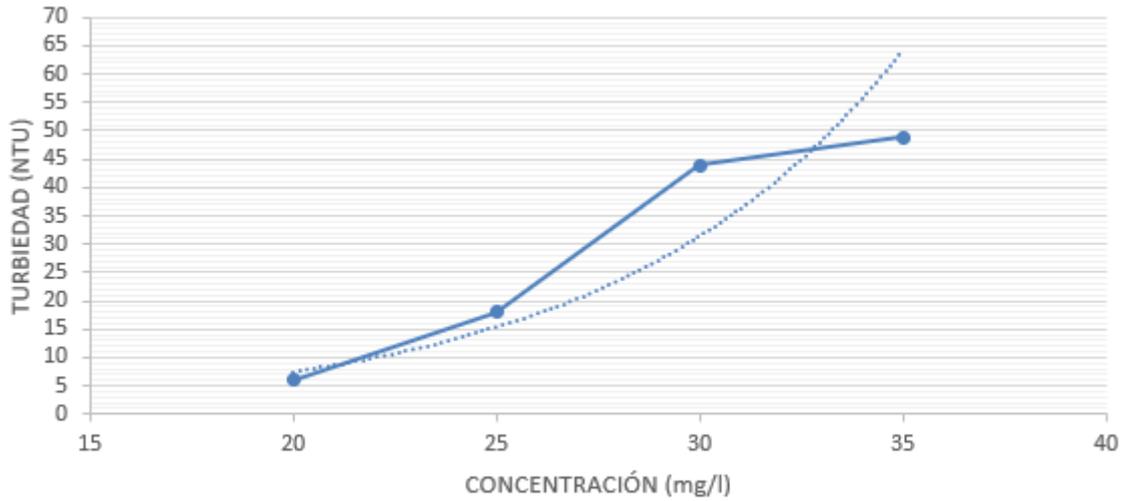


4.3.2 Comportamiento de la Curva con Agua Cruda

Turbiedad Inicial del Agua Cruda en un Rango de Turbiedad Bajo 0 a 50 NTU: El comportamiento de la curva en este rango se muestra en la Figura 15

Figura 15

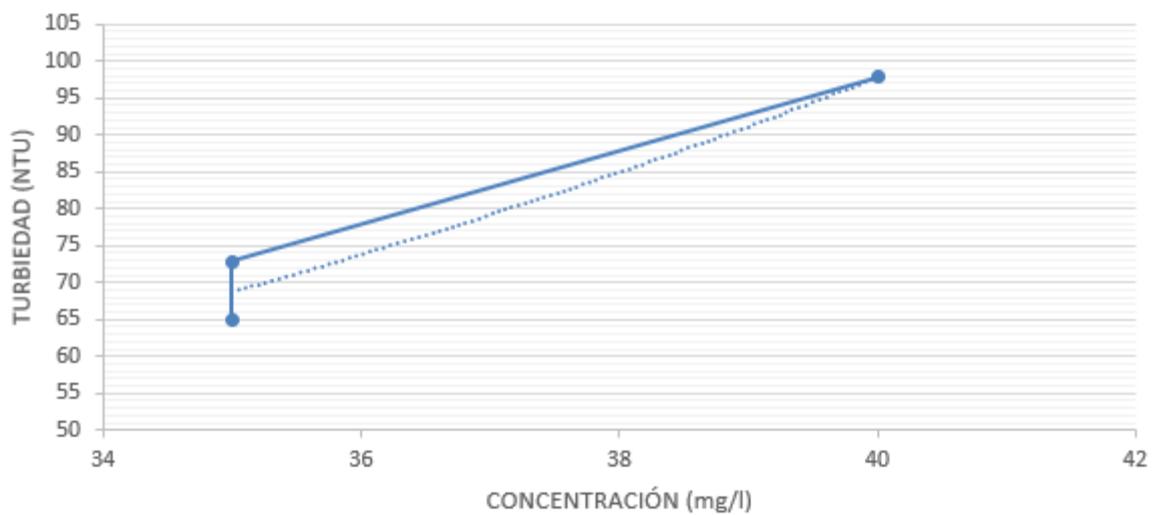
Curva Agua Cruda Rango de 0 a 50 NTU



Turbiedad Inicial del Agua Sintética en un Rango de Turbiedad Medio de 51 a 100 NTU: El comportamiento de la curva en este rango se muestra en la Figura 16

Figura 16

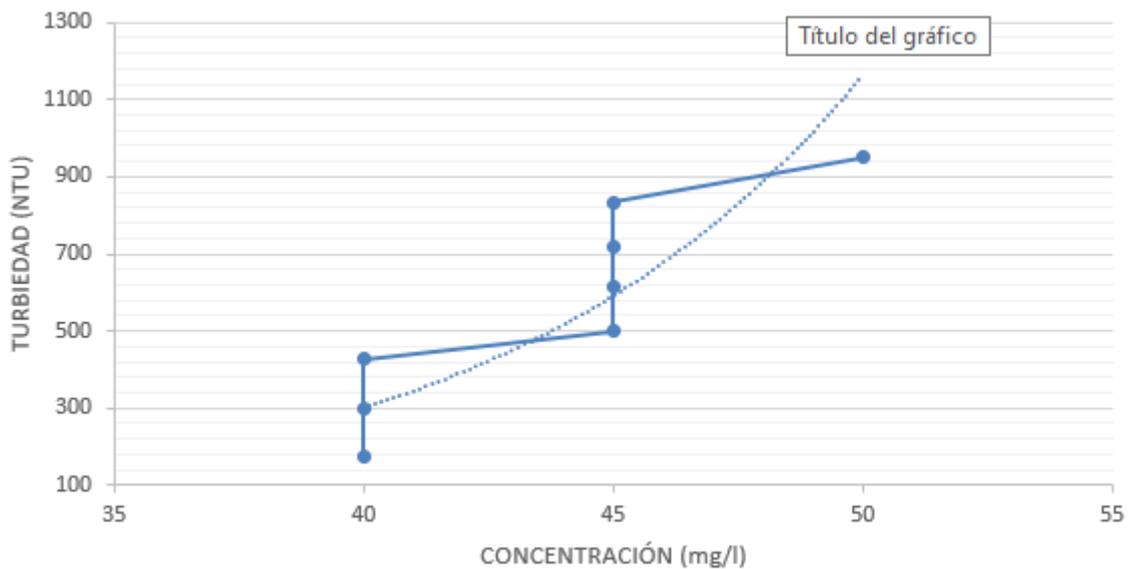
Curva Agua Cruda Rango de 51 a 100 NTU



Turbiedad Inicial del Agua Sintética en un Rango de Turbiedad Alto de 101 a 1000 NTU: El comportamiento de la curva en este rango se muestra en la Figura 17

Figura 17

Curva Agua Sintética Rango de 101 a 1000 NTU



4.4 Análisis para la Obtención de las Curvas

El proceso de coagulación y floculación depende del agua que se va a tratar, de ahí la importancia de hallar la dosis óptima de acuerdo a las condiciones físico químicas iniciales, las condiciones operaciones de la planta de tratamiento y del tipo de coagulante.

A medida que la turbiedad aumenta la dosificación del coagulante sulfato de aluminio también aumenta, ya que se da una adsorción entre los iones hidratados de aluminio y las numerosas partículas coloidales que producen la turbiedad (Jiménez & Medina, 2017). Cuando el agua presenta turbiedades bajas menores a 20 NTU se dificulta la coagulación ya que las partículas son livianas, esto no permite una adecuada formación del floc (Arboleda, 2000).

La tendencia de las curvas en el rango de turbiedad baja es horizontal hasta aproximadamente 31 NTU en la sintética y 20 NTU en la cruda, a partir de estos valores, es decir, con las turbiedades mayores, las tendencias que siguen las curvas son exponenciales. Esta tendencia se ajusta mejor, ya que a medida que aumenta la turbiedad también lo hace la concentración de dosis óptima. Pero este aumento no necesita aplicar grandes concentraciones de coagulante debido a que existe mayor cantidad de partículas coloidales las cuales se aglomeran más fácilmente. En el caso de la curva con agua cruda la tendencia exponencial comienza desde un valor menor (20 NTU) en comparación con la curva con agua sintética (31 NTU), esto hace que la curva de agua cruda use una menor cantidad de coagulante.

Para el análisis y selección de la tenencia también se tomó como criterio el valor del coeficiente de correlación, es decir, el valor de coeficiente más cercano al valor de 1 entre la tendencia logarítmica y exponencial, como se observa en la Tabla 4 y 5. No obstante, con las dos ecuaciones de las curvas se puede comprobar la dosificación del coagulante (Criollo & Lara, 2020).

Tabla 4

Fórmulas del Modelado de la Curva con Agua Sintética

Tendencia	Fórmulas	Coeficiente de Correlación R^2
Exponencial	$y = 0,9599e^{0,1311x}$	0,9367
Logarítmica	$y = 718,54 \ln(x) - 2279,3$	0,6964

Tabla 5

Fórmulas del Modelado de la Curva con Agua Cruda

Tendencia	Fórmulas	Coeficiente de Correlación R^2
Exponencial	$y = 0,2852e^{0,1655x}$	0,9534
Logarítmica	$y = 316,48 \ln(x) - 798,93$	0,2912

El coeficiente de correlación R^2 da como resultado para la curva del agua sintética el valor de 0,6964 con tendencia logarítmica, mientras que con la exponencial un valor de 0,9367. Se selecciona la tendencia exponencial y se obtiene la curva de dosificación que se indica en la Figura 41 (Anexo L) obtenida en el programa Microsoft Excel. Para una mejor apreciación de la misma se obtiene la gráfica en el programa Scilab en dos rangos de turbiedad, de 0 a 100 NTU en la Figura 42 (Anexo L) y en el rango de 100 a 1000 NTU en la Figura 43 (Anexo L).

Para la curva de agua cruda el coeficiente de correlación R^2 de la tendencia logarítmica es 0,2912 y 0,9534 para la exponencial. La selección de la tendencia es exponencial, la gráfica obtenida en Microsoft Excel se muestra en la Figura 44 (Anexo L). En el programa Scilab se grafica en dos rangos, de 0 a 100 NTU como se muestra en la Figura 45 (Anexo L) y de 100 a 1000 como se indica en la Figura 46 (Anexo L). La tendencia en los dos casos es exponencial ya que se presenta el valor más cercano a 1 y ajustándose mejor las curvas.

4.5 Porcentaje de Remoción

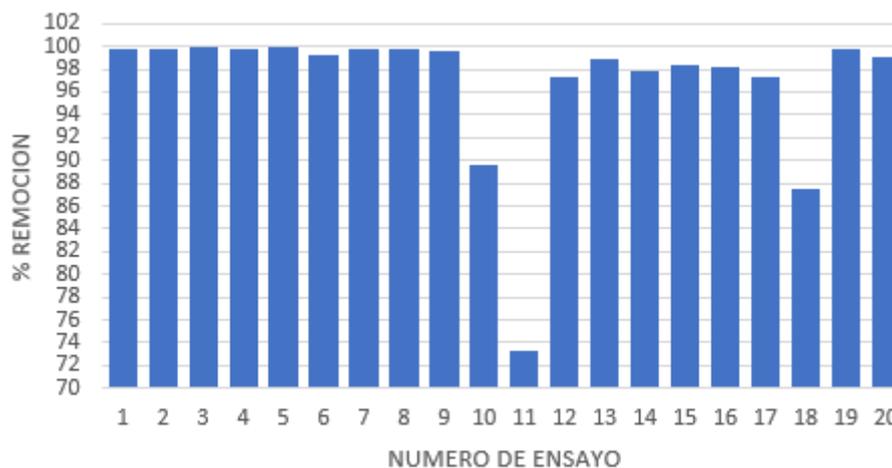
En el siguiente apartado se muestra el porcentaje de remoción tanto de turbiedad como de color del agua sintética y cruda, tras haber aplicado la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A.

4.5.1 Porcentajes de Remoción del Agua Sintética

4.5.1.1 Remoción de Turbiedad:

Figura 18

Remoción de Turbiedad Agua Sintética

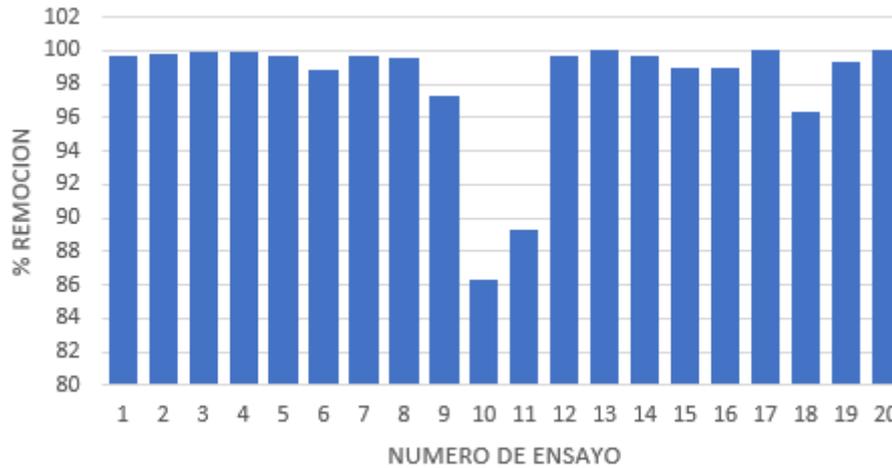


A partir de los resultados de la Figura 18 se puede observar que el porcentaje mínimo de remoción en la turbiedad es de 73,35 % y el máximo de 99,89%. Evaluando los porcentajes de remoción se puede destacar que los ensayos 18, 10 y 11 presentan un porcentaje de remoción inferior al 90 % con una dosis óptima de 20, 20 y 25 mg/l respectivamente, es decir las concentraciones más bajas, mientras que el resto de ensayos presentan un porcentaje de remoción en un rango de 97,23 y 99,89 %.

4.5.1.2 Remoción de Color

Figura 19

Remoción de Color Agua Sintética



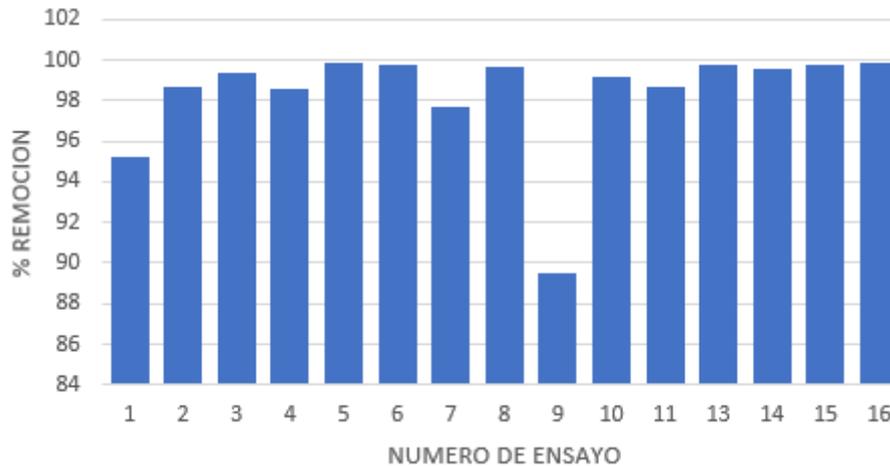
El porcentaje de remoción del color de agua sintética se muestra en la Figura 19, donde el valor mínimo es de 86,31% y el máximo del 100%. Analizando los valores del porcentaje de remoción de color se obtuvo que los ensayos 10 y 11 presentan un porcentaje de remoción inferior al 90 % con una dosis óptima de 20 y 25 mg/l respectivamente. De los 20 ensayos realizados 3 obtuvieron un porcentaje de remoción del 100 %, siendo estos el 13, 17 y 20 con dosis de 30, 25 y 35 mg/l respectivamente. El resto de ensayos presentan un porcentaje de remoción entre el 96,34 y el 99,93 %. Estos valores indican una excelente remoción tanto de turbiedad y color.

4.5.2 Porcentajes de Remoción con Agua Cruda

4.5.2.1 Remoción de Turbiedad

Figura 20

Remoción de Turbiedad Agua Cruda

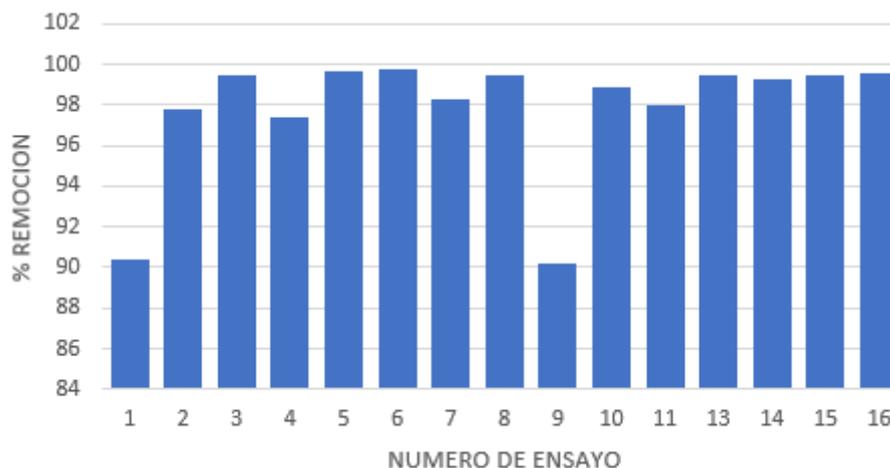


El porcentaje de remoción de turbiedad del agua cruda se muestra en la Figura 20, siendo el más bajo 89,52 % y el más alto 99,82 %. Los ensayos 1 y 9 presentan 95,17 y 89,52 % de remoción, siendo estos los más bajos con dosis optimas de 25 y 20 mg/l respectivamente. El resto de ensayos presentan porcentajes de remoción que se encuentran entre el rango de 97,70 y 99.82 %.

4.5.2.2 Remoción de Color

Figura 21

Remoción de Color Agua Cruda



El porcentaje de remoción del color en el agua cruda se muestra en la Figura 21, donde el más bajo fue de 90,16 % y el más alto 99,77 %. En los ensayos número 9 y 1 se presentan los menores valores del porcentaje de remoción con 90,16 y 90,35 %, con una dosis óptima de 20 y 25 mg/l. El resto de ensayos presentan el porcentaje de remoción en un rango de 97 a 99, 77%. Se puede evidenciar que existen excelentes porcentajes de remoción tanto de turbiedad como de color.

4.6 Comportamiento del pH

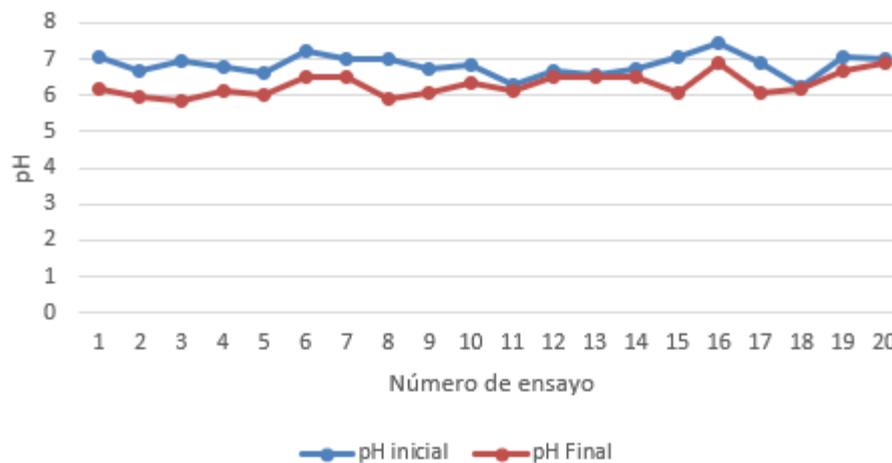
Al reaccionar el agua con el coagulante, sulfato de aluminio este se hidroliza y provoca una disminución de pH (Arboleda, 2000).

En las siguientes tablas podemos observar el comportamiento que tuvo el pH en las pruebas de jarras tanto para el agua sintética como el agua cruda.

4.6.1 Comportamiento del pH en el Agua Sintética:

Figura 22

Comportamiento del pH Agua Sintética

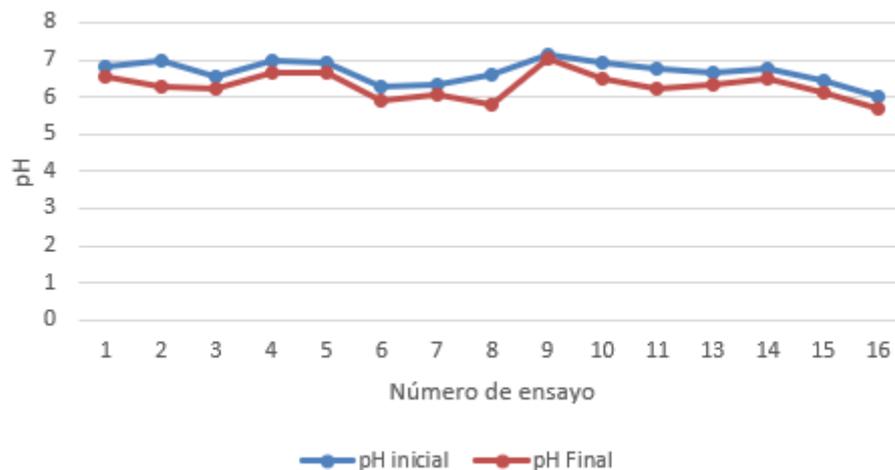


En todos los ensayos existe una disminución del pH. En el caso del agua sintética se dan dos reacciones de hidrolisis, la primera al adicionar el caolín al agua luego al añadir el coagulante sulfato de aluminio (Arboleda, 2000). En la Figura 22 se muestra el comportamiento del pH donde puede evidenciar que en el ensayo numero 2 ,3 y 8, existió una considerable disminución del pH, dando como resultado 5,97, 5,86 y 5,9 respectivamente.

4.6.2 Comportamiento del pH en el Agua Cruda

Figura 23

Comportamiento del pH Agua Cruda



En la Figura 23 se indica el comportamiento del pH en el agua cruda. Donde en los valores de los ensayos 6, 8 y 16 son bajos y dieron como resultado 5,86, 5,8 y 5,69 respectivamente.

4.6.3 Discusión de los Resultados Comportamiento del pH:

La causa de obtener valores de pH tan bajos puede tener como razón, además de la reacción de hidrólisis que presentan en la coagulación, una incorrecta manipulación de las muestras durante la recolección o durante el desarrollo de las pruebas ya que al disolverse el CO_2 en el agua se produce un reacción donde se genera H_2CO_3 , esta libera iones de hidrógeno haciendo que disminuya el pH (Pallé, 2018).

4.7 Análisis Económico

El análisis económico tiene como objetivo diferenciar los costos de producción, tanto con el sulfato de aluminio tipo A como con el sulfato de aluminio tipo B durante los 4 primeros meses del año en el módulo II de la PTAP-T. En el proceso de potabilización del agua como ya se conoce, está formado por una serie de procesos desde el ingreso del agua cruda hasta la salida del agua potable, estos procesos generarán costos los cuales serán detallados a continuación en la tabla 6.

Tabla 6

Descripción de costos de operación en el módulo II PTAP-T.

Descripción	Costo
Costos de insumos químicos para el tratamiento	\$7082,355
Costos recursos humanos mes	\$26345,116
Gastos Administrativos	\$2140,313
Materiales	\$140
Costo operación y mantenimiento por mes	\$35707,784
Arrendamiento del canal	\$5716,669
Costos indirectos	\$17994,557
Costo total	\$95126,794

Dentro de los costos de insumos químicos tenemos: sulfato de aluminio, polímero, cloro gas y permanganato de potasio.

4.7.1 Costos Mensuales de los Coagulantes Sulfato de Aluminio Tipo A y B

El análisis económico se realizó en base a los 4 primeros meses del año 2023, de lo cual se empleó un caudal promedio de ingreso a la PTAP-T por mes, así mismo se calculó un promedio mensual de los valores de turbiedad.

Con estos valores se seleccionó la dosis adecuada en la curva de dosificación. Con dicha concentración y el caudal promedio se calculó el costo de coagulante (Tabla 7 y 8), conociendo que el sulfato de aluminio tipo A tiene un costo de 0,60 centavos y 0,58 centavos el sulfato de aluminio tipo B por kilogramo.

Tabla 7

Costo de Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A por Volumen Mensual

Volumen mensual de	Turbiedad promedio (NTU)	Concentración Coagulante	Costo del coagulante
--------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------

	ingreso		(mg/l)	
Enero	1660420512	3,37	13,5	\$16.811,76
Febrero	1548167040	4,32	15	\$17.416,88
Marzo	1699819776	5,06	16,5	\$21.035,27
Abril	1661523840	4,68	15	\$18.692,14

Tabla 8

Costo de Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo B por Volumen Mensual

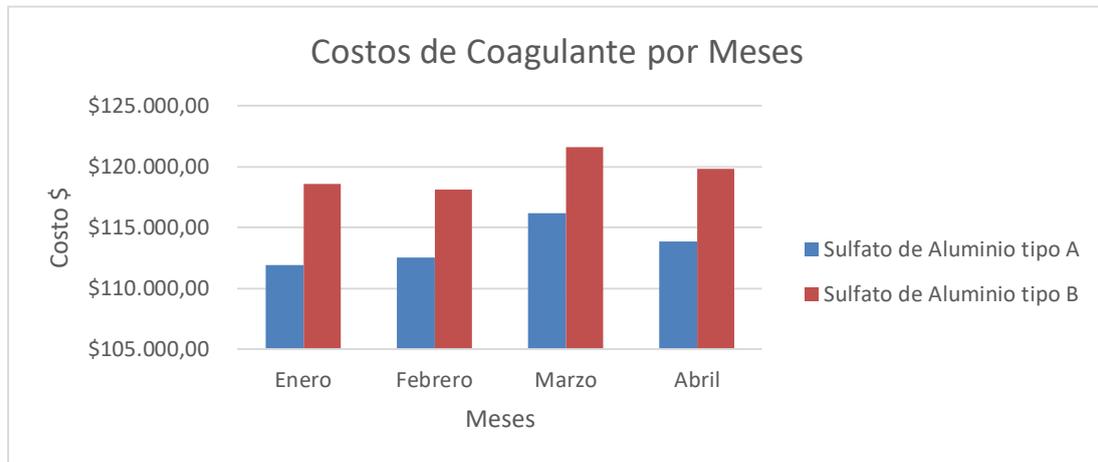
	Volumen mensual de ingreso	Turbiedad promedio (NTU)	Concentración Coagulante (mg/l)	Costo del Coagulante (\$)
Enero	1660420512	3,37	13,5	23.474,19
Febrero	1548167040	4,32	15	23.009,63
Marzo	1699819776	5,06	16,5	26.495,94
Abril	1661523840	4,68	15	24.694,40

4.7.2 Diferencia de Costos Mensuales

Al evaluar los resultados de los costos de emplear el sulfato de aluminio tipo A y B en el proceso de potabilización, se comprueba que existe una diferencia de costos entre los mismos que se presentan en la Figura 24

Figura 24

Diferencia de Costo de Coagulantes por Meses.



Se puede evidenciar que resulta más conveniente emplear el sulfato de aluminio tipo A ya que los costos de tratamiento del agua son menores. Es decir, que para una turbiedad y volumen determinado se utiliza una menor cantidad de sulfato de aluminio tipo A, en comparación con el sulfato de aluminio tipo B, basándonos en los meses de enero, febrero, marzo, abril donde existe una diferencia de \$6.662,44, \$5.592,75, \$5.460,67, \$6.002,25 respectivamente. Según Criollo & Lara (2020) la sustitución del sulfato de aluminio tipo B por el tipo A presenta ventajas como: los lodos generados son más fáciles de eliminar, el porcentaje de remoción tanto de turbiedad como de color son más altos y que las dosis óptimas son más bajas.

Capítulo V

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Para obtener el agua sintética se realizó varias pruebas previas con distintos tipos de tierra, las cuales no presentan los resultados esperados, ya que las muestras con turbiedades específicas para cada ensayo sedimentan rápidamente, además pueden introducir variables y contaminantes no deseados, esto no permite obtener resultados precisos. El agua sintética se formuló a partir de una solución madre, la que estuvo compuesta por un material arcilloso, caolín más agua destilada; el caolín generó mejores resultados en cuanto a la sedimentación, aunque este también podría introducir variables y contaminantes no deseados a las muestras. Las distintas muestras con valores de turbiedad variables se generaron al mezclar la solución madre con agua cruda que ingresa a la PTAP-T.

Las muestras de agua cruda se recolectaron durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo. En este tiempo se logró recolectar 36 muestras de agua proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán, de las cuales 20 fueron usadas para preparar agua sintética y 16 muestras restantes se obtuvieron con distintos valores de turbiedad que varían desde 6.01 a 950 NTU, estos cambios en los valores de turbiedad se alcanzaron debido a los fuertes cambios climáticos durante estos meses. La recolección de muestras se realizó bajo las normas NTE INEN 2176 y NTE INEN 2169, en base a estas normas se realizó la toma, manejo y conservación de las muestras.

A partir de los resultados de las pruebas de jarras se obtuvo la dosis óptima para cada una de las muestras, tanto para el agua sintética como para el agua cruda, a excepción de una muestra, la que se realizó en el ensayo 12 del agua cruda, ya que los resultados presentaron incongruencia entre los parámetros de análisis (turbiedad, color y pH) para obtener la dosis óptima. En las pruebas de jarras se consideró ciertos parámetros, la dosificación de coagulante y floculante, este es un factor crítico ya que si se coloca una cantidad insuficiente el proceso se vuelve ineficiente, mientras que si se coloca una cantidad en exceso de coagulante y floculante los flóculos resultan inestables, en los dos casos no existe una disminución de turbiedad y color. El rango de pH en el que se encuentra la muestra, debe estar entre 6 y 8 para que sea efectivo con sulfato de aluminio, coagulante con el que se trabajó. Otro factor importante que se tomó en cuenta fue la mezcla y agitación, esta permite la aglomeración y formación de flóculos con los que se genera la remoción de la turbiedad y color, además del tiempo de retención o sedimentación adecuado para una remoción completa, estas condiciones se tomaron en base a los

tiempos con los que se trabaja en la PTAP-T. Se compararon los valores de las dosis óptimas resultantes de las pruebas de jarras, tanto del agua cruda como del agua sintética, donde se infiere que las dosis óptimas del agua sintética son mayores en comparación con las dosis óptimas de agua cruda y que no guardan parecido o relación entre ellas.

Con las dosis óptimas del agua sintética y del agua cruda se obtuvieron dos curvas de dosificación con sulfato de aluminio tipo A. Estas dos curvas fueron generadas en los programas Scilab y Excel. Para cada gráfica se obtuvieron diferentes funciones matemáticas ya que cada una se ajusta a la relación entre sus variables dependientes e independientes, en este caso dosis óptima vs turbiedad inicial las cuales fueron analizadas anteriormente y no guardan una relación. Mediante el análisis estadístico (regresión lineal) se seleccionó una tendencia exponencial a partir del coeficiente de correlación, los cuales dieron mejor resultado con valores de 0,9367 para el agua sintética y 0,9534 para el agua cruda en comparación con el coeficiente de la tendencia logarítmica con valores de 0,6964 para el agua sintética y 0,2912 para el agua cruda. Además, la tendencia exponencial guarda una mejor relación ya que a medida que incrementa la dosificación del coagulante alcanza un punto de saturación donde el incremento cada vez se vuelve menos significativo. La curva de dosificación de agua sintética no se puede validar con la curva de dosificación de agua cruda.

Mediante la obtención del costo de operación se logró evaluar los precios al usar coagulante sulfato de aluminio tipo A y B en el proceso de potabilización de la PTAP-T. Se analizó los costos de operación dentro de la planta, tomando en consideración que el costo del coagulante varía de acuerdo al tipo de sulfato que se usa A o B. La variación de precios tiene una diferencia de 0,02 centavos por kilogramo, con 0,60 centavos el sulfato de aluminio tipo A y 0,58 centavos el tipo B. Se obtuvo que el reemplazo del coagulante tipo B por el A es factible debido a que existe un ahorro significativo en los meses analizados con una diferencia de \$23718,12. Este ahorro viene dado ya que al tratar un volumen determinado de agua cruda con una turbiedad específica se emplea una menor cantidad de concentración de sulfato de aluminio tipo A en comparación con el sulfato de aluminio tipo B generando menor dosificación y a su vez menor costo.

5.2 Recomendaciones:

Para la obtención de agua sintética con diferentes valores de turbiedad, se recomienda usar sustancias sintéticas o sustitutos específicos con la finalidad de simular los parámetros físicos y químicos necesarios para las experimentaciones de forma controlada. Este proceso de usar sustancias sintéticas se recomienda para analizar la efectividad del coagulante más que para obtener una curva de dosificación específica.

Se recomienda revisar antes de cada prueba el estado y calibración de los equipos que se usan para la medición de los parámetros necesarios para cada ensayo.

Preparar y dosificar correctamente el coagulante y floculante tanto en la preparación de soluciones como en la dosificación en cada ensayo.

Capítulo VI

6 Referencias

6.1 Referencias

- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua Coagulación y Floculación. SEDAPAL. <file:///C:/Users/Computadora/Documents/Tesis/docsity-tratamiento-de-aguas-19.pdf>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Rodrigo Pertuz Molina. <file:///C:/Users/Computadora/Documents/Tesis/Teoria%20y%20Practica%20de%20la%20Purificacion%20del%20H2O%20-%20Tomo%201%20-%20Arboleda%20Valencia.pdf>
- Bagastyo, A. Y., Nurhayati, E., Manah, S. P. H., Iswari, A. A. W. R., Yulikasari, A., Warmadewanthi, I. D. A. A., & Lin, T.-F. (2023). The role of aeration and pre-chlorination prior to coagulation-flocculation process in water treatment: A laboratory and field research in Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100352>
- Barajas, C., & León, A. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&is>
- Bouyakhass, R., Souabi, S., Rifi, S. K., Taleb, A., Pala, A., & Madinzi, A. (2023). Optimization of coagulation-flocculation for landfill leachate treatment: An experimental design approach using response surface methodology. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100841. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100841>
- Bowman, S., Agrawal, V., & Sharma, S. (2023). Role of pH and Eh in geothermal systems: Thermodynamic examples and impacts on scaling and corrosion. *Geothermics*, 111, 102710. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102710>
- Calle, D., & Zambrano, C. (2015). *Optimización del Proceso de Floculación Y Coagulación de La Planta Potabilizadora de la Junta de Agua Potable de Bayas [Tercer nivel, Universidad de Cuenca]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22162/1/tesis.pdf>

- Carreño, Á., Lucas, L., Hurtado, E., Barrios, R., & Silva, R. (2020). Adecuación para consumo humano de propiedades físicas de aguas del río Carrizal, Ecuador, a través de microorganismos eficientes y filtración con zeolitas / Adaptation for human consumption of physical properties of Carrizal River waters, Ecuador, through efficient microorganisms and filtration with zeolites. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(6), 368-399. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-06-09>
- Charapaqui Anccasi, J., & Tafur Anzualdo, V. I. (2022). Acción coagulante de la tuna, tara, mashua en el tratamiento de aguas del Rio Ichu, Huancavelica 2020. *Revista Cátedra Villarreal Posgrado*, 1(2), 123–139. Recuperado a partir de <https://eupgrevista.itdataperu.net/index.php/RCVP/article/view/1>
- Chele, Y. (2019). Determinación de la dosis del coagulante sulfato de aluminio tipo a para el tratamiento de agua potable en la empresa pública municipal de agua potable y alcantarillado del cantón Sucúa [Proyecto Técnico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13199/1/236T0458.PDF>
- Ching, J., & Corrales, P. (2016). Diseño de automatización del proceso de floculación y coagulación del agua para disminuir los niveles de turbidez pre-filtrado en la empresa avo Perú S.A.C. [Tercer nivel, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/1936>
- Claros, P. (2022). Diagnóstico del sistema de filtración de la planta de agua potable de Curubamba alta. [Diplomados posgrado, Universidad Mayor de San Simón]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/123456789/33761>
- Criollo, F., & Lara, V. (2020). Evaluación de los procesos de coagulación y floculación en la planta de tratamiento de agua potable de el Cebollar. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/34920/6/Trabajo%20de%20Titulacio%cc%81n.pdf>
- Eunice, M., & Choque, A. (2016). *Propuesta de coagulación química en el afluente de la planta de tratamiento de agua residual - Puchukollo y su relación con la remoción de nutrientes* [Proyecto de grado presentado para la obtención del grado de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/8763/PG-1738-Choque%20Alex%2c%20Marcela.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

García, J. (2021). Diagnóstico y mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Coello [Tercer Nivel, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/10495/24271>

Ghafari, S., Aziz, H. A., Isa, M. H., & Zinatizadeh, A. A. (2009). Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation–flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2), 650-656. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.090>

Goicochea, W. (2022). *Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua subterránea utilizada para el consumo humano en el caserío pata centro poblado Pariamarca – Cajamarca - 2020* [Tesis de Grado, Universidad nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4885>

Gómez, L. (2021). *Determinación de la dosificación óptima de Opuntia para la potabilización del agua cruda del canal Azúcar – Río Verde* [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6938>

Google 2023. Vista aérea de la Planta de Tratamiento de Potabilización de Agua Tixán. [Captura de pantalla de Google Earth]. Recuperado de <https://earth.google.com/web/search/Planta+de+tratamiento+de+agua+TIX%c3%81N,+Cuenca/@-2.8321673,-78.9920537,2689.88311381a,1055.09729987d,35y,323.99793981h,45t,0r/data=CpcBGm0SZwolMHg5MWNkMTdkZDM2Mjg2NTNiOjB4NGQ3Y2Y3OGNINTk5YzZjNhmsZ1JUR6gGwCENWM3Ofb9TWCosUGxhbnRhIGRIIHRYXRhbWllbnRvIGRIIGFndWEgVEIYw4FOLCBBdWVuY2EYAiABliYKJAm6lzT7eJIGwBEeVN6N4ykHwBmZRTnDLL9TwCFjEySbtcNTwA>

Guncay, R. (2019). Optimización del proceso de coagulación – floculación en la planta de tratamiento de la Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo Emapas-G-EP [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32668>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). Agua. calidad del agua. muestreo. técnicas de muestreo (Norma Técnica INEN No. 2176). Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/2176.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). Agua. calidad del agua. muestreo. manejo y conservación de muestras (Norma Técnica INEN No. 2169). Recuperado de [<https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>]

Izquierdo, M. (2015). Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de agua de la central termoeléctrica “El Descanso”. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <file:///C:/Users/Computadora/Downloads/TESIS.pdf>

Jiménez, T., & Medina, J. (2017). Influencia de la dilución del sulfato de aluminio en la eficiencia de la coagulación en la potabilización del agua. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional. <file:///C:/Users/Computadora/Documents/Tesis/CD-8137.pdf>

Lazo, A. (Julio). Consideraciones para el valor admisible de aluminio establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. <https://dspaceaya.igniteonline.la/bitstream/handle/aya/407/AD00287DOC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lazo, M., & Verdugo, M. (2015). Evaluación de la eficiencia de los filtros durante el proceso de potabilización del agua mediante análisis físico y microbiológico en la planta de tratamiento Uchupucun de la ciudad de Azoguez. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21726/1/Tesis.pdf>

Leal, J., & Granados, Y. (2018). Evaluación de la contaminación del agua para consumo humano por aluminio, provincia del alto Magdalena, departamento de Cundinamarca. [Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia Seccional del alto Magdalena]. Repositorio Institucional. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5763/TRABAJO%20FINAL%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Limongi, J. M., & Mendoza, C. M. (2022). Aplicación de coagulantes naturales obtenidos de las semillas de habas (*Vicia faba*) y durazno (*Prunus pérsica*) en la potabilización del agua. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(1), 54-67

Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. 40(2). <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>

- Martínez, A. (2019). La regulación del abastecimiento de agua en Ecuador. Evolución histórica y realidad actual. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/94810/6/Sostenibilidad_01_03.pdf
- Martínez, F., Pardo, J., & Riveros, H. (2018). *Bioquímica de Laguna y Piña* (Octava). El Manual Moderno, S.A. de C.V. <https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/s/biblioteca-digital/ark:/25654/1586#?c=0&m=0&s=0&cv=0>
- Martínez, R. (2016). *Diseño hidraulico sanitario de la ampliación de la Plana de Tratamiento de Agua Tixán Módulo II* (p. 5). https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoriatican/9.2.INFORME_DE_VIABILIDAD_TECNICA.pdf
- McKee, T., & McKee, J. R. (2014). *Bioquímica: Las bases moleculares de la vida* (Quinta). McGraw-Hill Education. <https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/s/biblioteca-digital/ark:/25654/816#?c=0&m=0&s=0&cv=0>
- Molina, J., & Jácome, A. (2008). Ensayo de Coagulación Floculación (Jar-Test). <https://docplayer.es/22592297-Ensayo-de-coagulacion-floculacion-jar-test.html>
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. H., & Escobar, J. C. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista EIA*, 137-138.
- Moreno, G., Alvarez, G., Orozco, M., & Reyes, A. (2021). *Tratamiento primario de aguas almacenadas en estanques rústicos mediante la aplicación de coagulantes químicos y biológicos*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282021000200018&script=sci_arttext
- Naseem, F., Zobia Zia, H., Ishtiaq Tariq, M., Amjad Bashir, M., Amber Hameed, S., Samiullah, K., Qayyoom, A., Farooq, H., Mehroz Afzal, R., Hashem, M., Morsy, K., Bin Dajem, S., Alasmari, A., & Ali Alshehri, M. (2022). Role of chemical composition of drinking water in human health of the community. *Journal of King Saud University - Science*, 34(7), 102232. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102232>
- Núñez, Á. (2014). Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable en las comunidades Pichán central, Chocaví chico y Chocaví central de la parroquia san isidro de Patulú [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3662/1/96T00277%20UDCTFC.pdf>

- Núñez, S. (2018). Optimización del coagulante sulfato de aluminio en el tratamiento de potabilización del agua de la planta Chota-Cajamarca [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3347/BC-TES-TMP-2189.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Olortegui, H. (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 [Tercer Nivel, Universidad nacional de San Martín – Tarapoto]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3652/1/ING.%20SANITARIA%20-%20Herbert%20Frank%20Olortegui%20Rodriguez.pdf>
- Ordoñez, F. (2015). *Ampliación de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán* (Tomo I; pp. 1-5). file:///C:/Users/Computadora/Documents/Tesis/TOMO%201_1.PDF
- Pallé, C. (2018). El dióxido de carbono como forma sostenible de reducir el pH del agua. s/n (34). <file://procesos-sistemas-dioxido-carbono-reducir-ph-agua-tecnoaqua-es.pdf>
- Pelayza, P. (2022). *Aplicación de Residuos de Fruta de Mango (Mangifera Indica) sobre Agua Sintética para la Clarificación del Agua* [Tercer Nivel, Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/103336>
- Real Academia Española. (2001). Agua. En Diccionario de la lengua española. Recuperado de <https://www.rae.es/drae2001/agua>
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable* [Tercer Nivel, Universidad de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, E. (2019). Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas ácidas de minas [Tercer Nivel, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/4399>
- Rodríguez, M., Confortti, N., Pérez, M., Suarez, S., & Lobo, D. (2022). Mecanismo coagulación-floculación, utilizando alumbre comercial y alumbre preparado a partir de material de

reciclaje. Comparación de la eficiencia. Universidad Metropolitana. 17(1), 58-60.
<https://doi.org/DOI: 10.22507/pml.v17n1a4>

Saxena, K., & Brighu, U. (2020). Comparison of floc properties of coagulation systems: Effect of particle concentration, scale and mode of flocculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104311. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104311>

Silveira, J. R., Souza, V. M. de, Cuba, R. M. F., & Terán, F. J. C. (2021). Influencia da pré-cloração na clarificação de águas para abastecimento utilizando coagulante à base de tanino. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26.

Skotta, A., Jmiai, A., Elhayaoui, W., El-Asri, A., Tamimi, M., Assabbane, A., & El Issami, S. (2023). Suspended matter and heavy metals (Cu and Zn) removal from water by coagulation/flocculation process using a new Bio-flocculant: *Lepidium sativum*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 145, 104792. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104792>

Ünal, C., Açikkalp, E., Borge-Diez, D., & Hepbasli, A. (2021). Extended exergy analysis of a solar driven water production plant via reverse osmosis. *Applied Thermal Engineering*, 194, 117064. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117064>

Valle, F. (2019) Agua: generalidades y potabilización. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 12 (34). <http://hdl.handle.net/20.500.11763/delos34agua>

Vargas, L. (2004). Tratamiento de Agua para consumo Humano. CEPIS/OPS. https://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf

Velásquez, C. (2021). *Dosis óptima y eficiencia del coagulante sulfato de aluminio utilizado en el proceso de floculación para el tratamiento de agua potable en la Eps Sedacaj*. [Tesis de Grado, Universidad privada del Norte]. Repositorio Institucional https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30225/Tesis_Cesar%20Antonio%20Velasquez%20Cachay.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Capítulo VII

7 Anexos

7.1 Anexo A. Formato de toma de datos

Tabla 9

Formato Toma de Datos para Turbiedad

Pruebas de Jarras Turbiedad Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Turbiedad (NTU)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Turbiedad (NTU)				pH final	Dosis óptima (mg/L)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		

Tabla 10

Formato Toma de Datos para Color

Pruebas de Jarras Color Agua Cruda											
#Ensayo	Fecha	Color (UPC)	Dosificación (mg/l)				Color (UPC)				Dosis óptima (mg/L)
			J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	

7.2 Anexo B. Requisitos Normativa INEN NTE 1108

Tabla 11

Requisitos Físicos y Químicos del Agua para Consumo Humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido ^b	Método de ensayo ^c
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 Cl ⁻
Cobre	mg/L	2,0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500-F ⁻
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-NO ₃ ⁻
Nitritos (como NO ₂ ⁻)	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-NO ₂ ⁻
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad ^a	NTU	5	Standard Methods 2130

^a Se conoce también como *Turbidez*.
^b Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en NTE INEN 52.
^c En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

Nota. Adaptado de la Norma NTE INEN 1108 2020.

Tabla 12

Rango de pH del Agua para Consumo Humano

TABLA B.1. Rango de pH del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Rango
pH ^a	Unidades de pH	6,5 – 8,0

^a Parámetro de control operativo

Nota. Adaptado de la Norma NTE INEN 1108 2020.

7.3 Anexo C. Equipos de laboratorio

Figura 25

Test de Jarras

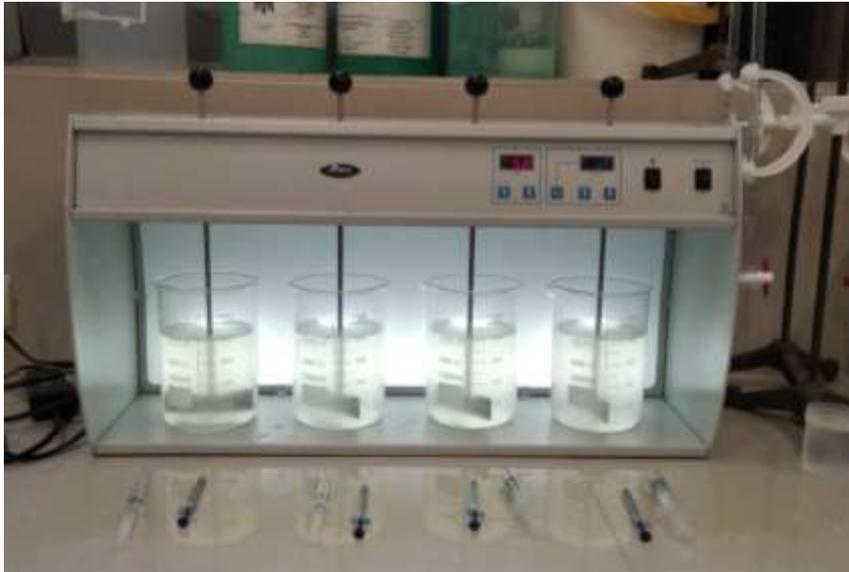


Figura 26

Turbidímetro Hach 2100



Figura 27

Potenciómetro Hach



Figura 28

Espectrofotómetro Hach 3900



7.4 Anexo D. Toma de Muestras

Figura 29

Toma de Muestras del Agua de Ingreso a la PTAPT



7.5 Anexo E. Pruebas de Jarras

Figura 30

Pruebas de Jarras Agua Sintética

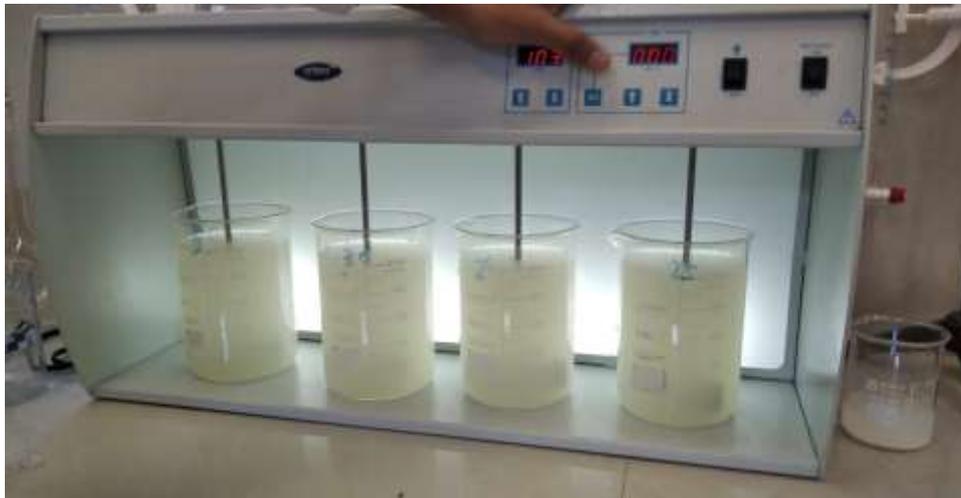


Figura 31

Pruebas de Jarras Agua Cruda

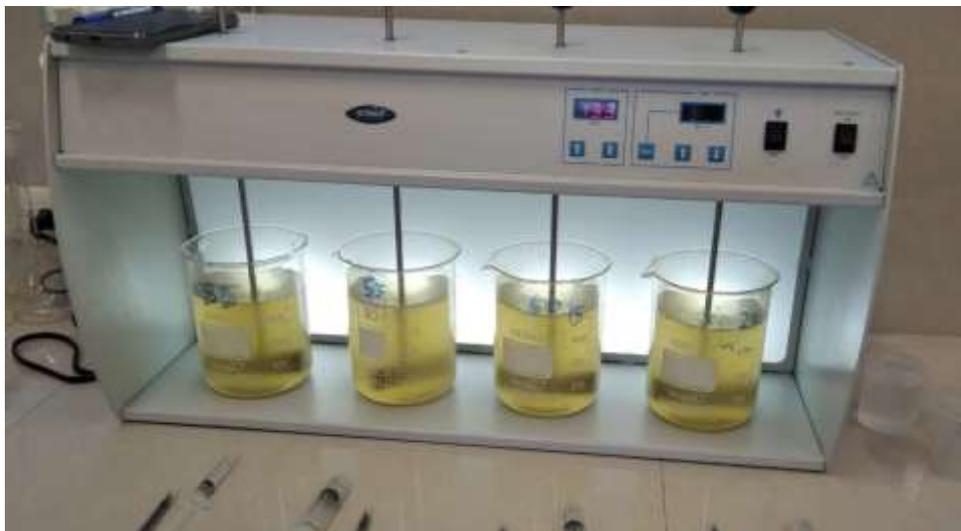


Figura 32

Formación de Flóculos



Figura 33

Proceso de Sedimentación



7.6 Anexo F. Captación de Agua

Figura 34

Canales de Captación de Agua



7.7 Anexo G. Coagulante y Floculante

Figura 35

Sulfato de Aluminio Tipo A Granulado



Figura 36

Floculante Polímero



7.8 Anexo H. Curvas de Dosificación Sulfato de Aluminio Tipo B PTAP-T

Figura 37

Curva de Dosificación Sulfato de Aluminio Tipo B 0 a 200 NTU

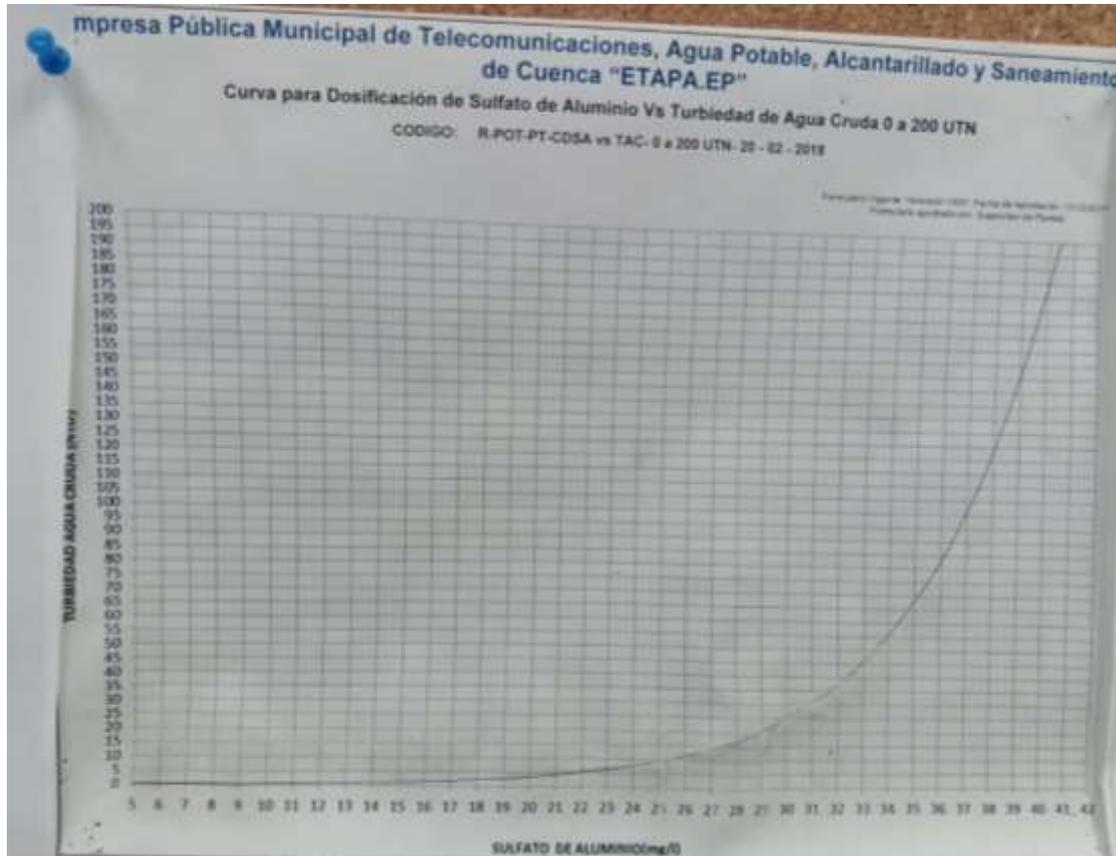
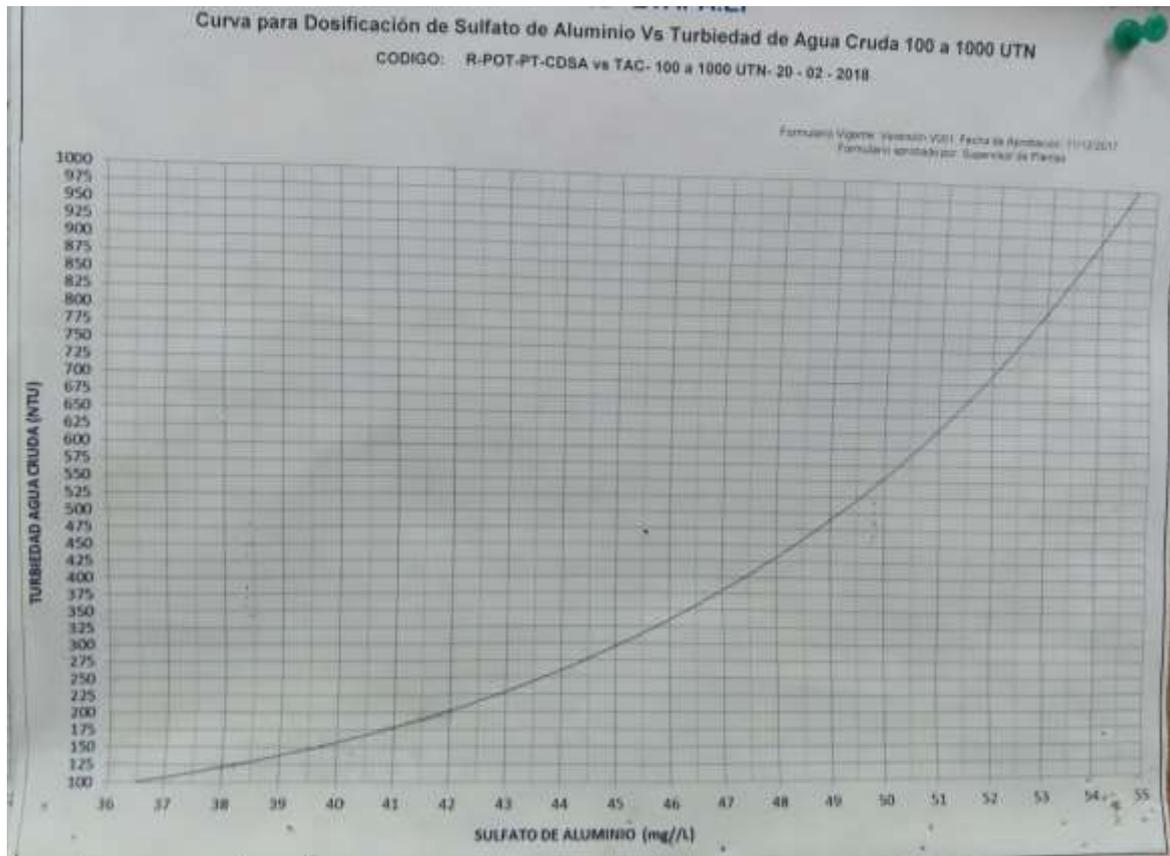


Figura 38

Curva de Dosificación Sulfato de Aluminio Tipo B 100 a 1000 NTU



7.9 Anexo I. Resultados Pruebas de Jarras por Mes Turbiedad y Color Agua

Sintética

Tabla 13

Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)

Pruebas de Jarras Agua Sintética mes de Marzo													
#Ensayo	Fecha	Turbiedad (NTU)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Turbiedad (NTU)				pH final	Dosis óptima (mg/l)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
1	02/03/23	308	7,04	30	40	50	60	0,93	0,72	0,92	0,81	6,18	40
				40	45	50	55	0,92	0,94	1,07	1,37		
				40	40	40	40	0,64	0,78	0,9	0,75		
2	02/03/23	440	6,68	40	50	60	70	2,84	1,05	1,9	4,54	5,97	45
				45	50	55	60	1,15	1,99	1,41	1,68		
				45	45	45	45	1,19	0,94	1,04	1,15		
3	03/03/23	900	6,95	50	60	70	80	5,01	2,3	1	4,1	5,86	60
				50	55	60	65	4,01	1,99	1,12	3,51		
				60	60	60	60	1,66	1,43	1,86	1,81		
4	06/03/23	350	6,81	30	40	50	60	2,15	1,5	1,99	3	6,11	40
				40	45	50	55	0,81	1,15	1,32	1,27		
				40	40	40	40	1,05	0,77	0,88	0,92		
5	06/03/23	800	6,63	40	50	60	70	1,56	1,12	2,18	1,32	6,04	55
				45	50	55	60	1,41	0,95	0,9	1,21		
				55	55	55	55	1,4	1,18	1,12	1,13		
6	09/03/23	200	7,22	30	40	50	60	2,5	1,59	1,98	3,85	6,52	40
				30	35	40	45	2,5	1,59	1,53	1,96		
				40	40	40	40	1,29	1,5	1,45	1,34		
				30	30	30	30	2,2	2,1	1,22	1,89		
7	09/03/23	600	7,02	40	50	60	70	1,33	1,6	1,43	7,38	6,5	50
				40	45	50	55	1,29	1,21	1,2	2,18		
				50	50	50	50	1,23	1,25	1,34	1,29		

8	10/03/23	501	7.03	30	40	50	60	1,76	1,95	1,12	2,94	5,9	50
				40	45	50	55	1,24	1,81	1,2	2,06		
				50	50	50	50	1,11	1,38	1,36	1,01		
9	13/03/23	400	6,73	30	40	50	60	3,51	1,15	2,63	1,9	6,05	45
				35	40	45	50	1,44	2,38	1,37	5,25		
				45	45	45	45	1,35	1,4	1,3	1,43		
10	14/03/23	18,3	6,85	15	20	25	30	3,2	1,91	2,18	2,39	6,33	20
				20	20	20	20	1,45	1,74	1,79	1,79		
11	30/03/23	27,5	6,31	15	20	25	30	14,3	15,1	7,33	10,45	6,1	25
				25	25	25	25	1,35	1,42	0,98	1,38		
12	31/03/23	52,3	6,67	25	30	35	40	1,55	1,45	1,48	2,05	6,52	30

Tabla 14

Resultados del Test de Jarras (Color)

Pruebas de Jarras Agua Sintética Mes de Marzo													
#Ensayo	Fecha	Color (UPC)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Color (UPC)				pH final	Dosis óptima (mg/l)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
1	02/03/23	1207	7,04	40	45	50	55	4	4	0	0	6,18	40
				40	40	40	40	4	4	3	2		
2	02/03/23	1333	6,68	45	50	55	60	2	4	4	5	5,97	45
				45	45	45	45	0	0	0	2		
3	03/03/23	14200	6,95	50	55	60	65	21	20	18	18	5,86	60
				60	60	60	60	20	20	17	18		
4	06/03/23	2790	6,81	40	45	50	55	2	3	3	9	6,11	40
				40	40	40	40	2	1	2	2		
5	06/03/23	3330	6,63	45	50	55	60	59	71	12	29	6,04	55
				55	55	55	55	10	11	13	12		
6	09/03/23	1900	7,22	30	35	40	45	20	24	21	25	6,52	40
				40	40	40	40	22	25	24	19		

7	09/03/23	3030	7,02	40	45	50	55	11	12	9	10	6,5	50
				50	50	50	50	12	11	11	10		
8	10/03/23	2520	7,03	40	45	50	55	20	13	10	15	5,9	50
				50	50	50	50	9	8	10	10		
9	13/03/23	2200	6,73	35	40	45	50	62	65	60	62	6,05	45
				45	45	45	45	40	45	40	47		
10	14/03/23	168	6,85	15	20	25	30	61	23	33	36	6,33	20
				20	20	20	20	30	35	28	33		
11	30/03/23	158	6,31	15	20	25	30	129	137	17	20	6,1	25
				25	25	25	25	7	3	0	3		
12	31/03/23	315	6,67	25	30	35	40	33	3	1	9	6,52	30
				30	30	30	30	7	20	9	13		

Tabla 15

Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)

Pruebas de Jarras Agua Sintética Mes de Abril													
#Ensayo	Fecha	Turbiedad (NTU)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Turbiedad (NTU)				pH final	Dosis óptima (mg/l)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
13	03/04/23	94,2	6,57	25	30	35	40	3,85	1,87	0,99	2,96	6,52	35
				35	35	35	35	0,95	0,54	1,12	1,06		
14	06/04/23	102	6,74	25	30	35	40	2,36	3,01	3,89	2,16	6,52	40
				40	40	40	40	1,39	2,04	1,63	2,15		
15	11/04/23	63,9	7,08	25	30	35	40	2,8	1	1,52	1,6	6,07	30
				30	30	30	30	1,83	2,82	1,42	2,03		
16	11/04/23	70	7,44	25	30	35	40	2,73	1,52	1,24	1,47	6,89	35
				35	35	35	35	0,82	2,01	1,49	1,47		
17	13/04/23	35,7	6,91	15	20	25	30	1,22	1,95	0,99	2,23	6,09	25
				25	25	25	25	1,15	1,41	1,46	1,03		
18	17/04/23	8,72	6,26	10	15	20	25	1,56	1,15	1,1	1,84	6,16	20
				20	20	20	20	0,85	1,18	1,15	0,97		
19	18/04/23	718	7,07	40	50	60	70	1,18	2,88	1,12	12,8	6,69	55
				50	55	60	65	2,03	1,61	6,01	10,9		
				55	55	55	55	1,25	1,31	0,97	1,1		
20	20/04/23	86,4	7	25	30	35	40	1,12	0,95	0,79	1,66	6,87	35
				35	35	35	35	1,03	1,31	1,17	1,14		

Tabla 16

Resultados del Test de Jarras (Color)

Pruebas de Jarras Agua Sintética Abril													
#Ensayo	Fecha	Color (UPC)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Color (UPC)				pH final	Dosis óptima (mg/l)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
13	03/04/23	620	6,57	25	30	35	40	0	2	0	0	6,52	35
				35	35	35	35	1	0	1	5		
14	06/04/23	720	6,74	25	30	35	40	11	8	9	2	6,52	40
				40	40	40	40	6	5	3	3		
15	11/04/23	463	7,08	25	30	35	40	17	11	5	13	6,07	30
				30	30	30	30	6	5	2	2		
16	11/04/23	459	7,44	25	30	35	40	16	13	7	5	6,89	35
				35	35	35	35	5	8	7	7		
17	13/04/23	255	6,91	15	20	25	30	0	0	0	0	6,09	25
				25	25	25	25	0	0	0	0		
18	17/04/23	82	6,26	10	15	20	25	11	9	3	5	6,16	20
				20	20	20	20	2	2	2	3		
19	18/04/23	3630	7,07	50	55	60	65	36	24	46	66	6,69	55
				55	55	55	55	15	25	21	33		
20	20/04/23	490	7	25	30	35	40	1	0	0	5	6,87	35
				35	35	35	35	0	0	4	0		

7.10 Anexo J. Resultados Pruebas de Jarras por Mes Turbiedad y Color

Agua Cruda

Tabla 17

Resultados Test de Jarras de Agua Cruda (Turbiedad)

Pruebas de Jarras Mes de Febrero Turbiedad Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Turbiedad (NTU)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Turbiedad (NTU)				pH final	Dosis óptima (mg/L)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
1	20/02/23	18,01	6,79	10	20	30	40	9,87	1,19	0,18	0,62	6,57	25
				20	25	30	35	1,24	0,87	1,49	1,65		
2	25/02/23	64,9	6,99	20	30	40	50	0,72	1,16	0,92	1,68	6,27	35
				25	30	40	50	0,85	1,32	0,85	1,17		

Tabla 18

Resultados de Test de Jarras (Color)

Pruebas de Jarras Mes de Febrero Color Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Color (UPC)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Color (UPC)				pH final	Dosis óptima (mg/L)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
1	20/02/23	114	6,79	10	20	30	40	109	6	7	5	6,57	25
				20	25	30	35	12	11	15	8		
2	25/02/23	276	6,99	20	30	40	50	9	4	7	16	6,27	35
				25	30	40	50	9	7	6	15		

Tabla 19

Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)

Pruebas de Jarras Mes de Marzo Turbiedad Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Turbiedad (NTU)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Turbiedad (NTU)				pH final	Dosis óptima (mg/L)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
3	14/03/23	175	6,57	30	40	50	60	1,09	1,89	4,52	9,69	6,24	40
				30	35	40	45	1,67	1,27	1,05	1,68		
4	17/03/23	48,8	6,98	20	30	40	50	21,1	20,5	21	18,5	6,64	35
				30	35	40	45	0,95	0,69	1,04	1,16		
5	25/03/23	499	6,94	40	50	60	70	1,23	3,72	8,84	12,4	6,64	45
				45	50	55	60	0,88	2,25	4,26	5,42		
6	31/03/23	720	6,3	40	50	60	70	1,05	2,87	4,82	5,7	5,89	45
				40	45	50	55	1,28	1,61	3,06	4,26		

Tabla 20

Resultados del Test de Jarras (Color)

Pruebas de Jarras Color Mes de Marzo Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Color (UPC)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Color (UPC)				pH final	Dosis óptima (mg/L)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
3	14/03/23	2340	6,57	30	40	50	60	9	28	53	108	6,24	40
				30	35	40	45	13	8	13	19		
4	17/03/23	265	6,98	20	30	40	50	260	206	201	193	6,64	35
				30	35	40	45	19	7	10	14		
5	25/03/23	1380	6,94	40	50	60	70	6	34	81	119	6,64	45
				45	50	55	60	5	14	35	48		
6	31/03/23	2980	6,3	40	50	60	70	4	19	39	70	5,89	45
				40	45	50	55	9	7	21	35		

Tabla 21

Resultados Test de Jarras (Turbiedad)

Pruebas de Jarras Mes de Abril Turbiedad Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Turbiedad (NTU)	pH Inicial	Dosificación (mg/l)				Turbiedad (NTU)				pH final	Dosis óptima (mg/l)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
7	03/04/23	43,9	6,33	20	30	40	50	0,97	0,87	0,75	1,88	6,05	30
				20	25	30	35	1,16	1,08	1,01	0,65		
8	15/04/23	617	6,62	40	50	60	70	1,75	4,1	9,47	10,3	5,8	45
				40	45	50	55	1,31	2,17	4,35	5,3		
9	22/04/23	6,01	7,16	10	20	30	40	3,89	0,61	0,6	0,75	7,04	20
				20	25	30	35	0,63	0,9	0,67	0,65		
10	25/04/23	97,8	6,9	30	40	50	60	0,99	1,24	4,77	8,12	6,51	40
				30	35	40	45	0,91	1,67	0,83	3,34		
11	28/04/23	72,9	6,76	20	30	40	50	0,83	1,03	0,98	2,42	6,23	35
				30	35	40	45	1,01	0,97	0,98	1,2		
12	28/04/23	78,4	6,88	20	30	40	50	0,76	1,03	1,41	2,66	6,66	25
				25	30	35	40	0,68	1,05	2,32	1,26		
13	30/04/23	427	6,68	40	50	60	70	1,25	4,05	10,08	13,3	6,34	40
				40	45	50	55	0,93	1,66	3,93	7,55		

Tabla 22

Resultados del Test de Jarras (Color)

Pruebas de Jarras Color Mes de Abril Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Color (UPC)	pH Inicial	Dosificación (mg/l)				Color (UPC)				pH final	Dosis óptima (mg/l)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
7	03/04/23	297	6,33	20	30	40	50	10	10	8	9	6,05	30
				20	25	30	35	6	8	5	5		
8	15/04/23	2740	6,62	40	50	60	70	19	31	80	83	5,8	45
				40	45	50	55	26	15	33	41		
9	22/04/23	61	7,16	10	20	30	40	54	5	4	5	7,04	20
				20	25	30	35	6	6	9	5		
10	25/04/23	620	6,9	30	40	50	60	7	15	45	78	6,51	40
				30	35	40	45	11	17	7	32		
11	28/04/23	351	6,76	20	30	40	50	19	16	13	27	6,23	35
				30	35	40	45	8	7	13	18		
12	28/04/23	500	6,88	20	30	40	50	16	7	14	37	6,66	30
				25	30	35	40	6	5	32	14		
13	30/04/23	1080	6,68	40	50	60	70	9	36	94	127	6,34	40
				40	45	50	55	6	13	33	70		

Tabla 23

Resultados del Test de Jarras (Turbiedad)

Pruebas de Jarras Mes de Mayo Turbiedad Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Turbiedad (NTU)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Turbiedad (NTU)				pH final	Dosis óptima (mg/L)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
14	2/05/23	298	6,74	30	40	50	60	0,85	1,5	5,47	9,2	6,5	40
				30	35	40	45	1,42	1,5	1,32	9,2		
15	10/05/23	833	6,45	40	50	60	70	2,85	1,63	3,98	4,16	6,1	45
				40	45	50	55	3,7	2,03	3,89	3,78		
16	8/05/23	950	6,01	40	50	60	70	2,46	1,42	4,41	3,47	5,69	50
				40	45	50	55	1,84	3,34	1,51	2,74		

Tabla 24

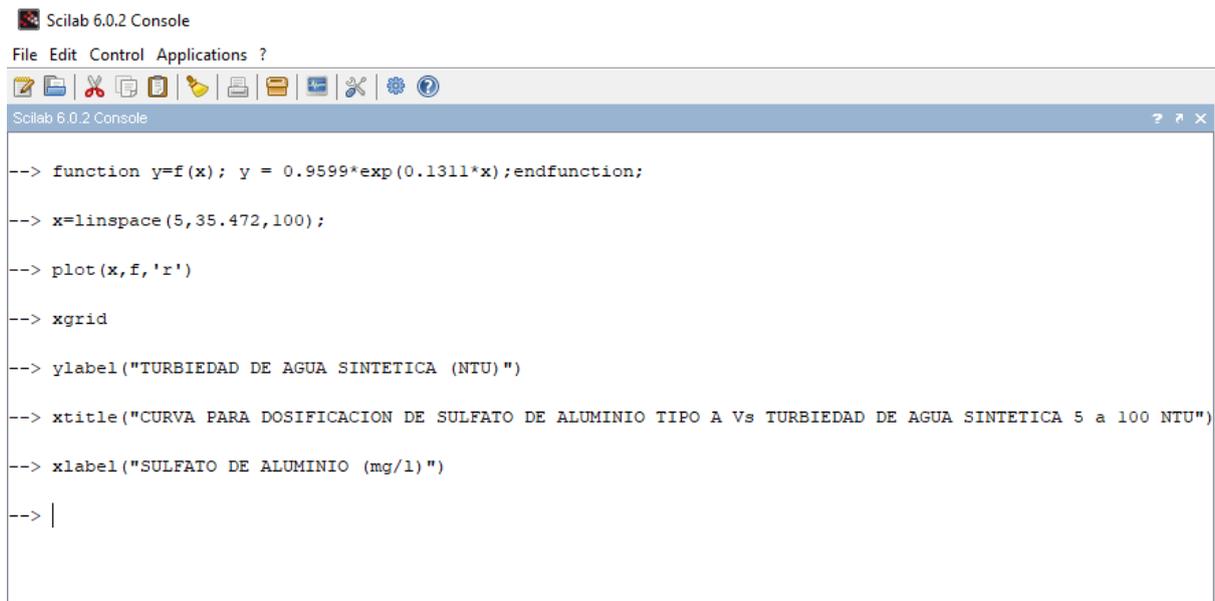
Resultado Test de Jarras (Color)

Pruebas de Jarras Mes de Mayo Color Agua Cruda													
#Ensayo	Fecha	Color (UPC)	pH inicial	Dosificación (mg/l)				Color (UPC)				pH final	Dosis óptima (mg/L)
				J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4		
14	2/05/23	1600	6,74	30	40	50	60	13	12	54	100	6,5	40
				30	35	40	45	8	10	12	26		
15	10/05/23	3431	6,45	40	50	60	70	24	13	41	36	6,1	45
				40	45	50	55	32	17	33	33		
16	8/05/23	3500	6,01	40	50	60	70	20	15	42	33	5,69	50
				40	45	50	55	24	13	16	33		

7.11 Anexo K. Códigos de Scilab

Figura 39

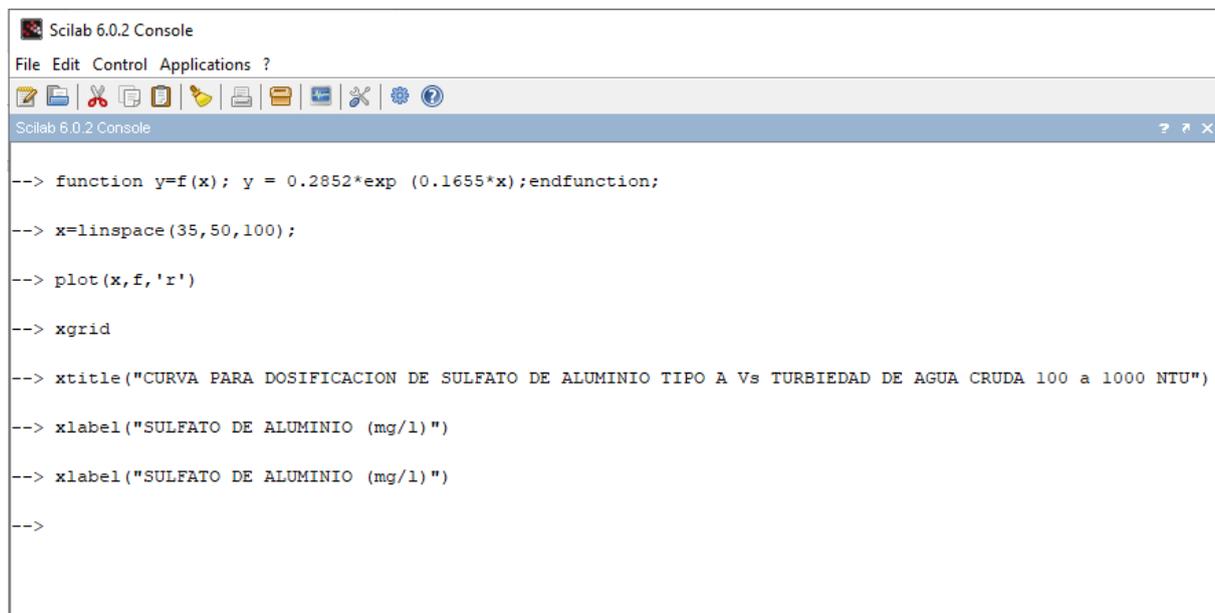
Código Scilab Curva Agua Sintética



```
Scilab 6.0.2 Console
File Edit Control Applications ?
Scilab 6.0.2 Console
--> function y=f(x); y = 0.9599*exp(0.1311*x);endfunction;
--> x=linspace(5,35.472,100);
--> plot(x,f,'r')
--> xgrid
--> ylabel("TURBIEDAD DE AGUA SINTETICA (NTU)")
--> xtitle("CURVA PARA DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO TIPO A Vs TURBIEDAD DE AGUA SINTETICA 5 a 100 NTU")
--> xlabel("SULFATO DE ALUMINIO (mg/l)")
--> |
```

Figura 40

Código Scilab Curva Agua Cruda



```
Scilab 6.0.2 Console
File Edit Control Applications ?
Scilab 6.0.2 Console
--> function y=f(x); y = 0.2852*exp(0.1655*x);endfunction;
--> x=linspace(35,50,100);
--> plot(x,f,'r')
--> xgrid
--> xtitle("CURVA PARA DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO TIPO A Vs TURBIEDAD DE AGUA CRUDA 100 a 1000 NTU")
--> xlabel("SULFATO DE ALUMINIO (mg/l)")
--> xlabel("SULFATO DE ALUMINIO (mg/l)")
-->
```

7.12 Anexo L. Curvas de Dosificación Agua Cruda y Agua Sintética

Figura 41

Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua sintética de 0 a 1000 NTU programa Excel

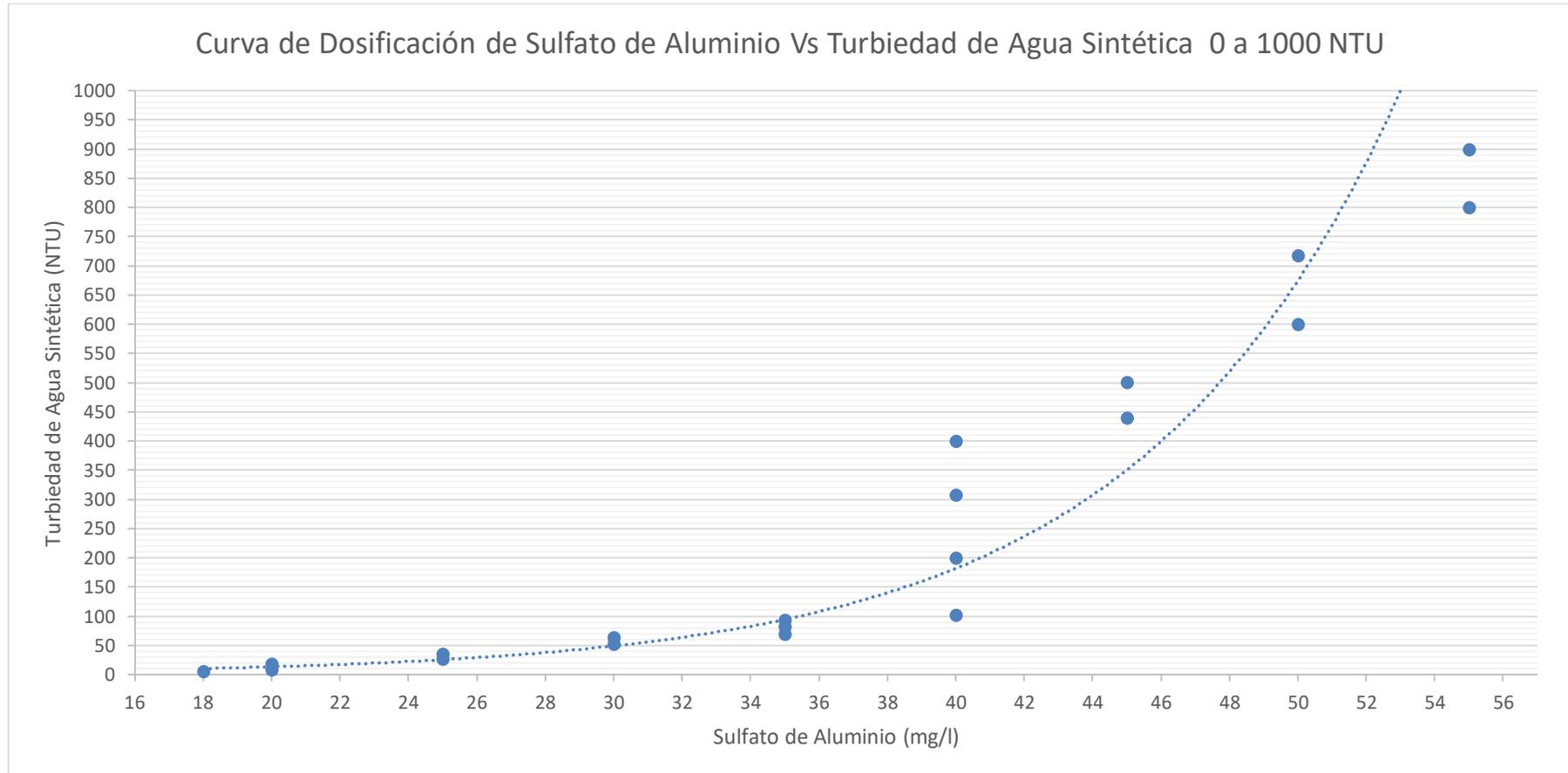


Figura 42

Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua sintética de 0 a 100 NTU programa Scilab

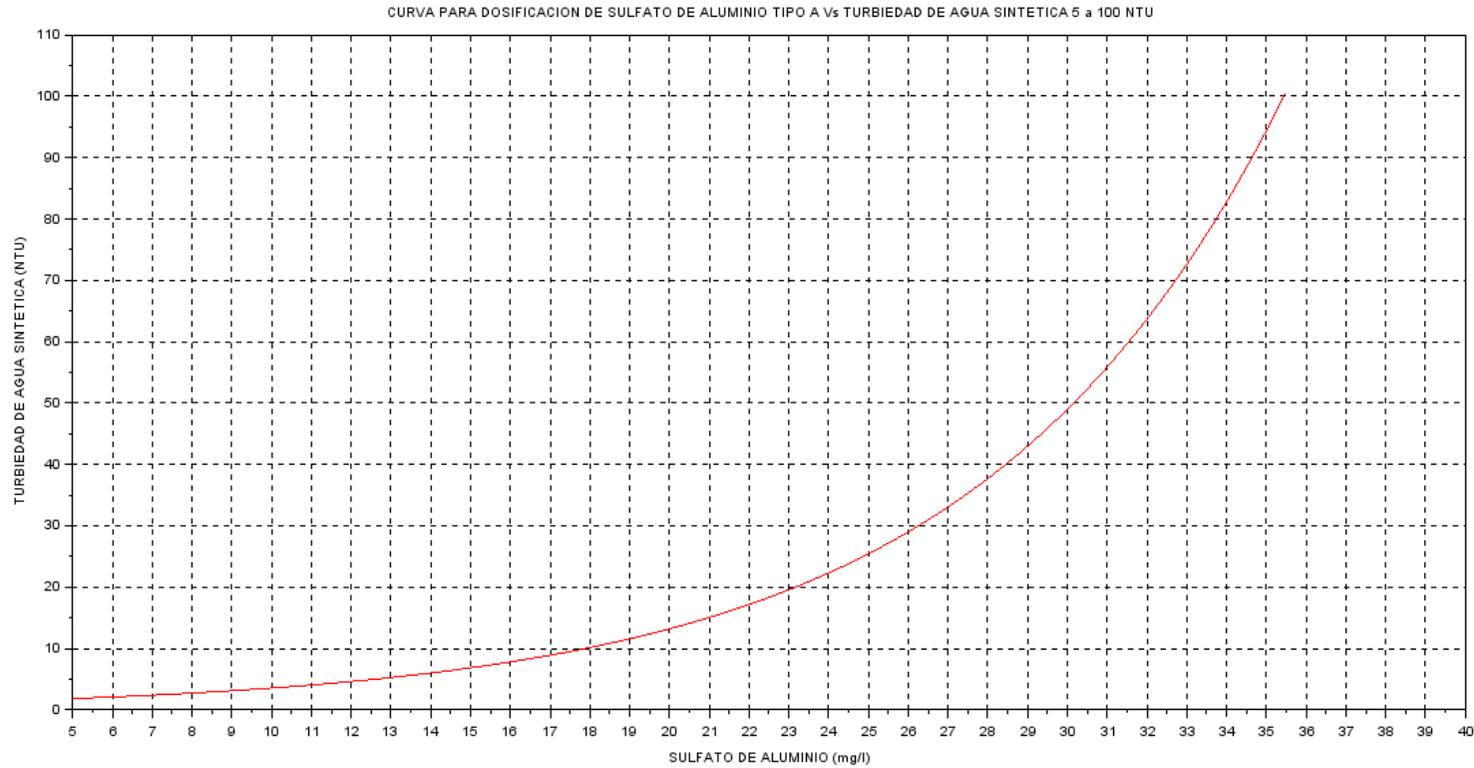


Figura 43

Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua sintética de 100 a 1000 NTU programa Scilab

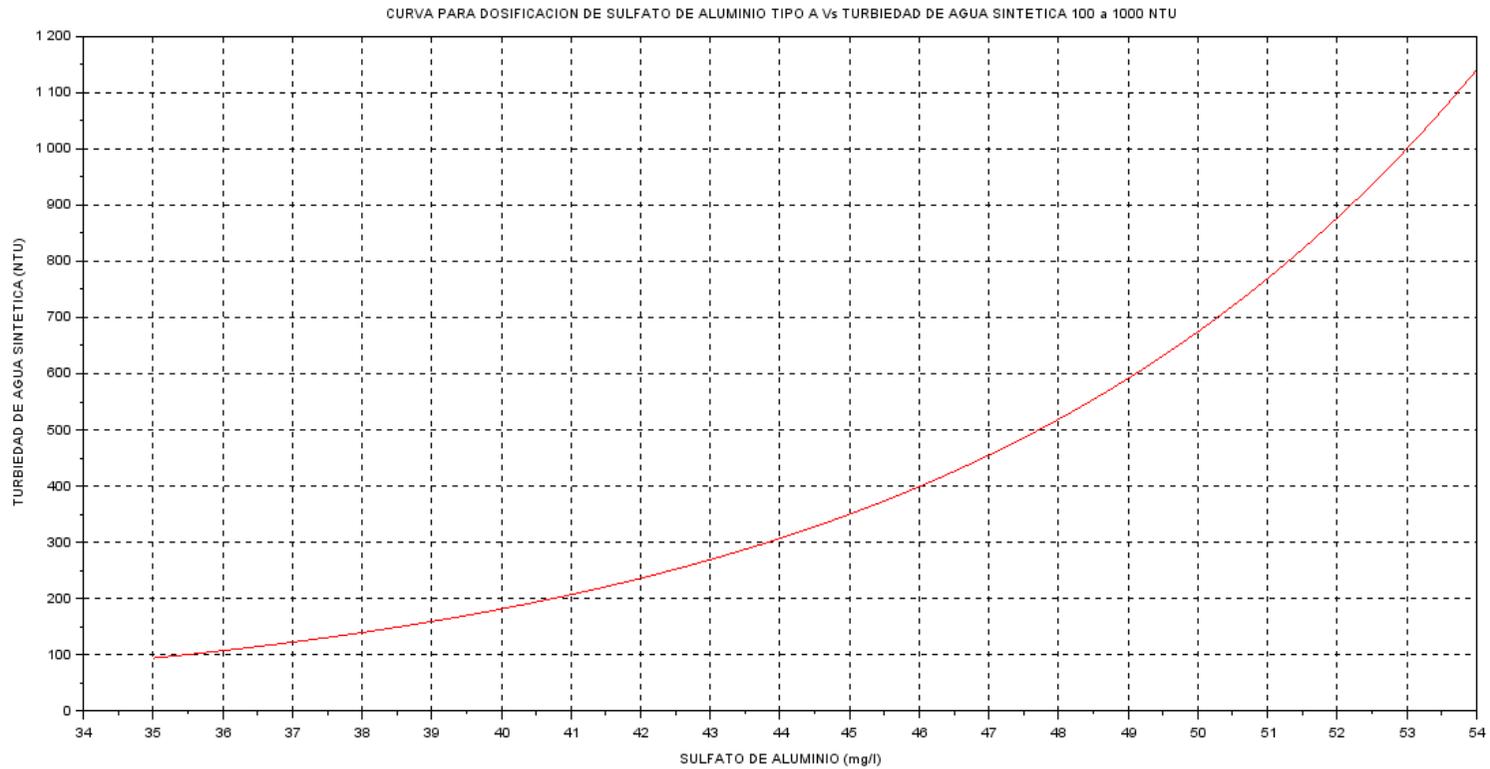


Figura 44

Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua cruda de 0 a 1000 NTU programa Excel.

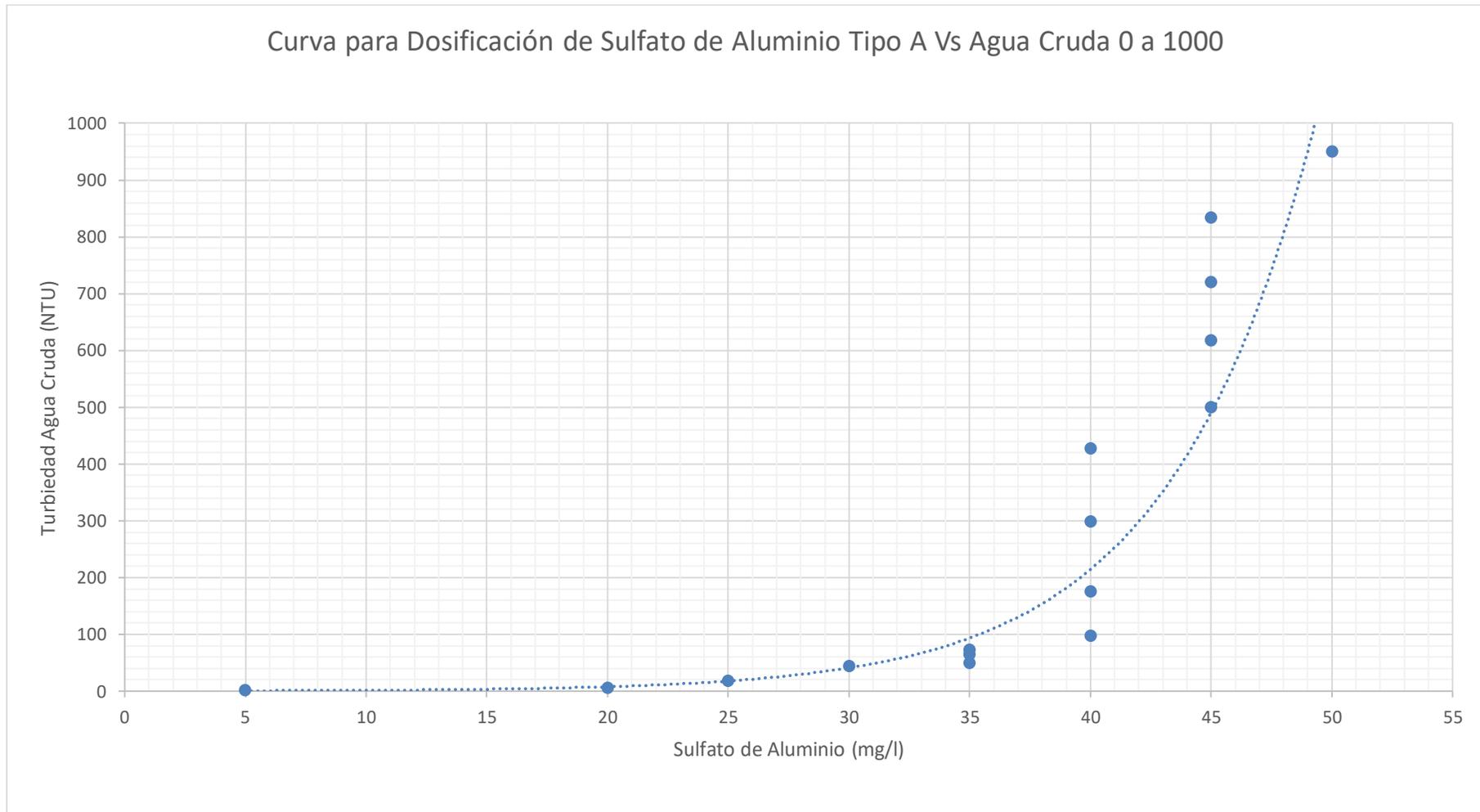


Figura 45

Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua cruda de 0 a 100 NTU programa Scilab.

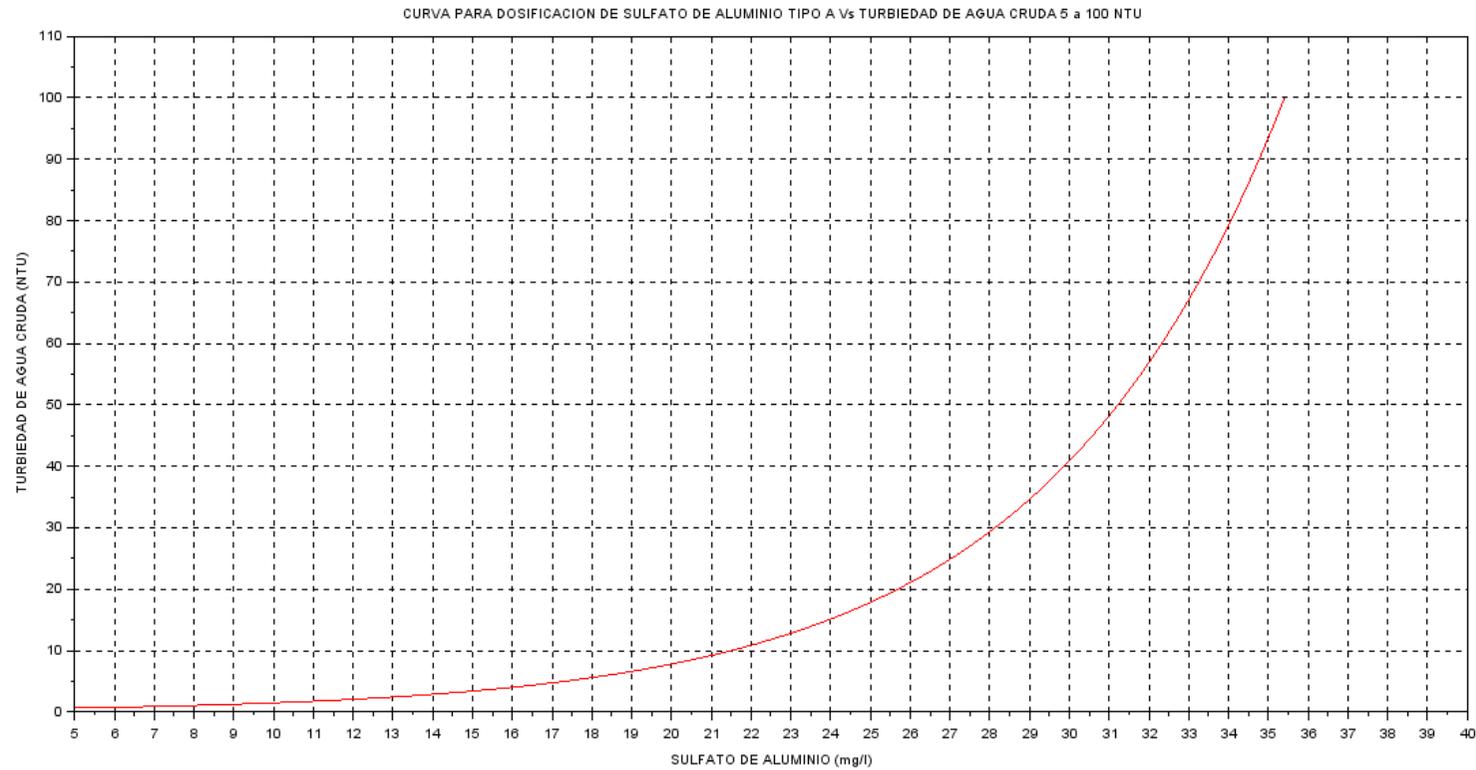


Figura 46

Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio tipo A con agua cruda de 0 a 100 NTU programa Scilab.

