



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“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”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: YAJAIRA MARIBEL CHELE BALDANO

DIRECTOR: Ing. MIGUEL ÁNGEL OSORIO RIVERA, M. Sc

Macas – Ecuador

2019

©2019, Yajaira Maribel Chele Baldano

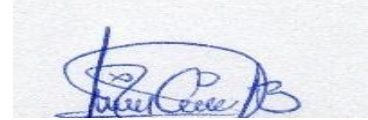
Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: “**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**” de responsabilidad de la señorita: Yajaira Maribel Chele Baldano, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

| NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|---|--|--------------|
| José Gerardo León Chimbolema Dr. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 2019-07-17 |
| Miguel Ángel Osorio Rivera, M. Sc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN |  | 2019-07-17 |
| Lourdes Cumandá Carrera Beltrán. Dra. MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  | 2019-07-17 |

Yo, Yajaira Maribel Chele Baldano, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente documento y el patrimonio intelectual del Proyecto de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Yajaira Maribel Chele Baldano

Yo, Yajaira Maribel Chele Baldano, presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos contantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo toda la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Macas, 17 de julio de 2019



Yajaira Maribel Chele Baldano

140055170 – 9

DEDICATORIA

La mayoría de las veces en nuestras vidas pareciera que estuviéramos en una guerra constante, pero hay momentos en que esta cesa y nos unimos para poder alcanzar nuestros ideales, es por ello que este trabajo se lo quiero dedicar a:

Mi madre Mariana la cual fue el eje principal y mi guía en cada paso de mi vida demostrándome su amor y apoyo incondicional, por su esfuerzo, sacrificio y sobretodo paciencia para alcanzar una de la meta por eso este título profesional no es solo mío sino tuyo también madre.

A mis hermanos Jaime (Jhynno), Gioconda y José⁺ que me enseñaron que juntos podemos alcanzar muchas cosas, que gracias a los regañones, enseñanzas y amor hoy estoy en este lugar.

A la memoria de mi hermano José Luis⁺ quien donde quiera que este sé que se sentirá orgulloso de que yo sea una profesional gracias por ser mi más grande ejemplo de perseverancia y por darme todo tu apoyo siempre.

A mis tíos Esthela y Víctor que son mis segundos padres, Dios me bendijo poniéndome a ellos en mi vida, por su alegría y serenidad, amor y ternura para conmigo en momentos que ya estaba por rendirme.

Al amor de mi vida Fernando Palomeque H. siendo la persona que llegó a mi vida cuando menos me lo esperaba para hacer que mi mundo sea perfecto.

Yaji

AGRADECIMIENTO

Primero y ante todo agradezco a Dios por brindarme la vida por darme la fortaleza que necesaria para afrontar las adversidades de la vida y por hoy estar viva y alcanzando mi sueño y el de mi familia.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser parte de una sociedad con ética y entereza.

Agradezco de manera muy especial a mi Tutor Ing. Miguel Osorio por ser mi guía en este proyecto, por brindarme sus conocimientos y preocuparse por realizar un trabajo de calidad.

A mi evaluadora, Dra. Cumandá Carrera, quien me ha guiado en el desarrollo de este estudio compartiendo de manera desinteresada sus conocimientos

A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Sucúa y su Gerente el Ing. Rommel Trujillo por permitirme hacer uso del laboratorio que posee la empresa para realizar mis análisis respectivos planteados en los objetivos definidos en mi trabajo de titulación. Al Ing. Ariel Cabrera compañero de estudios y encargado del laboratorio de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Sucúa gracias por compartir tus conocimientos y tener paciencia para conmigo en el tiempo compartido en el laboratorio.

Finalmente, y no menos importante a cada una de las personas que formaron parte de mi formación académica y personal agradezco por hacerme una persona perseverante y seguidora de mis sueños hasta poderlos conseguir.

Yaji

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------------|
| RESUMEN | xv |
| SUMMARY | xvi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| CAPÍTULO I | 4 |
| 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL | 4 |
| 1.1. El agua potable en el mundo | 4 |
| 1.2. Agua y la salud. | 4 |
| <i>1.2.1. El agua</i> | 4 |
| <i>1.2.1.1. Características del agua</i> | 4 |
| <i>1.2.1.2. Características físicas y organolépticas</i> | 5 |
| <i>1.2.1.3. Características químicas</i> | 5 |
| <i>1.2.2. La salud del agua</i> | 7 |
| 1.3. Calidad del agua potable | 8 |
| <i>1.3.1. Los principales factores que afectan la oferta y/o la demanda de agua.</i> | 8 |
| <i>1.3.2. Los factores que afectan a la calidad del agua.</i> | 8 |
| 1.4. Planta de tratamiento de agua potable | 9 |
| <i>1.4.1. Tratamiento de agua potable</i> | 9 |
| <i>1.4.1.1 Captación</i> | 9 |
| <i>1.4.1.2 Conducción</i> | 9 |
| <i>1.4.1.3 Pre – sedimentación</i> | 9 |
| 1.5. Coagulación en el tratamiento de aguas | 10 |
| <i>1.5.1. La coagulación</i> | 10 |
| <i>1.5.2. Coagulantes</i> | 10 |
| <i>1.5.2.1. Dosis óptima del coagulante</i> | 11 |
| <i>1.5.2.2. Principales coagulantes</i> | 11 |
| <i>1.5.2.2. Factores que influyen en la coagulación.</i> | 12 |
| <i>1.5.2.3. Mecanismos de actuación del coagulante</i> | 14 |
| <i>1.6.2. Sales de aluminio</i> | 17 |
| <i>1.6.2.1. Sulfato de aluminio</i> | 17 |
| <i>1.6.2. El Sulfato de Aluminio Tipo A</i> | 17 |
| <i>1.6.2.1. Aplicaciones</i> | 17 |
| 1.7. El coagulante sulfato de aluminio frente al medio ambiente | 18 |
| 1.8. La floculación | 18 |
| <i>1.8.1. Uso de floculantes</i> | 18 |
| <i>1.8.2. Factores que influyen en la Floculación:</i> | 18 |

| | |
|---|-----------|
| <i>1.8.3. Los tipos de floculación son:</i> | 19 |
| <i>1.8.4. Floculantes empleados en el proceso de Floculación:</i> | 19 |
| <i>1.8.5. Coadyuvantes de la floculación</i> | 19 |
| 1.9. Ensayo de jarras | 20 |
| | |
| CAPÍTULO II | 22 |
| 2. METODOLOGÍA | 22 |
| 2.1. Tipo y diseño de la investigación | 22 |
| 2.2. Obtención de la muestra | 22 |
| <i>2.2.1. Población</i> | 22 |
| <i>2.2.2. Tamaño y selección de la muestra</i> | 22 |
| <i>2.2.2.1. Técnica de recolección de datos</i> | 22 |
| 2.3. Proceso metodológico | 23 |
| <i>2.3.1. Metodología para determinar la dosis óptima del coagulante</i> | 23 |
| <i>2.3.1. Preparación del coagulante sulfato de aluminio tipo a nivel de planta y laboratorio.</i> | 24 |
| <i>2.3.1.1. En planta</i> | 24 |
| <i>2.3.1.2. En el laboratorio</i> | 24 |
| <i>2.3.1.3. Procedimiento:</i> | 24 |
| <i>2.3.2. Descripción de la prueba de jarras</i> | 24 |
| <i>2.3.3. Condiciones de la prueba de jarras</i> | 26 |
| <i>2.3.3.1. Mezcla rápida</i> | 26 |
| <i>2.3.3.2. Mezcla lenta</i> | 26 |
| <i>2.3.3.3. Reposo</i> | 26 |
| <i>2.3.4. Procedimientos para llevar una prueba de jarras</i> | 26 |
| <i>2.3.5. Criterios para la evaluación</i> | 28 |
| 2.4. Materiales a utilizar | 29 |
| <i>2.4.1. Pruebas de laboratorio</i> | 29 |
| <i>2.4.1.1. Descripción de equipos y materiales</i> | 29 |
| | |
| CAPÍTULO III | 31 |
| 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. | 31 |
| 3.1. Localización de estudios | 31 |
| 3.2. Lugar de Muestreo | 32 |
| <i>3.2.1. Muestreo de Agua Cruda</i> | 33 |
| 3.3. Ensayo de jarras con diferentes dosis de Sulfato de Aluminio Tipo A | 33 |
| <i>3.3.1. Ensayos en el mes de octubre</i> | 33 |
| <i>3.3.2. Ensayos en el mes de noviembre</i> | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.3.3. Ensayos en el mes de diciembre..... | 41 |
| 3.4. Turbiedad Inicial y Dosis Óptima | 44 |
| 3.4.1. Turbiedad inicial rango 0 – 50 NTU | 44 |
| 3.4.2. Turbiedad inicial rango 51 – 100 NTU | 46 |
| 3.4.3. Turbiedad inicial rango 101 – 1000 NTU | 46 |
| 3.5. Relación entre las condiciones iniciales y finales con sus respectivas dosis óptimas encontradas para cada caso..... | 48 |
| 3.6. Porcentaje de la remoción de los parámetros fisicoquímicos (Turbiedad y Color) que se pusieron a disposición mediante todo el estudio..... | 51 |
| 3.6.1. Porcentaje de remoción de Turbiedad..... | 51 |
| 3.6.2. Porcentaje de remoción de Color..... | 53 |
| 3.6. Comportamiento del pH en los análisis desarrollados..... | 54 |
| 3.6. Obtención de la curva de calibración de coagulante Sulfato de Aluminio tipo A | 56 |
| CONCLUSIONES..... | 57 |
| RECOMENDACIONES..... | 58 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 59 |
| ANEXOS | 63 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 – 1: Sustancias tóxicas que puede presentar el agua. | 7 |
| Tabla 2 – 1: Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación. | 12 |
| Tabla 3 – 1: Algunas especificaciones del equipo test de jarras. | 21 |
| Tabla 1 – 2: Dosis de Coagulante Sulfato de Aluminio tipo A y Polímero. | 28 |
| Tabla 1 – 3: Análisis Físico – Químico iniciales del mes de Octubre. | 34 |
| Tabla 2 – 3: Resultado de la turbiedad final y dosis óptima del mes de octubre. | 35 |
| Tabla 3 – 3: Resultado del color final y dosis óptima del mes de octubre. | 36 |
| Tabla 4 – 3: Datos Residuales de la turbiedad, color y pH del mes de octubre. | 37 |
| Tabla 5 – 3: Análisis Físico – Químico iniciales del mes de noviembre. | 38 |
| Tabla 6 – 3: Resultado de turbiedad final y dosis óptima del mes de noviembre. | 39 |
| Tabla 7 – 3: Resultado de color final y dosis óptima del mes de noviembre. | 40 |
| Tabla 8 – 3: Datos finales de la turbiedad, color y pH del mes de noviembre. | 40 |
| Tabla 9 – 3: Análisis Físico – Químico inicial del mes de diciembre. | 41 |
| Tabla 10 – 3: Resultado de la turbiedad final y dosis óptima del mes de diciembre. | 42 |
| Tabla 11 – 3: Resultado del color final y dosis óptima del mes de diciembre. | 43 |
| Tabla 12 – 3: Datos finales de la turbiedad, color y pH del mes de diciembre. | 43 |
| Tabla 13 – 3: Turbiedad Inicial (0 – 50 NTU) Vs Dosis Óptima | 44 |
| Tabla 14 – 3: Turbiedad Inicial (51 – 100 NTU) Vs Dosis Óptima | 46 |
| Tabla 15 – 3: Turbiedad Inicial (101 – 1000 NTU) Vs Dosis Óptima. | 47 |
| Tabla 16 – 3: Condiciones Iniciales y finales y sus pertenecientes dosis óptimas. | 48 |
| Tabla 17 – 3: Porcentaje de remoción de Turbiedad. | 51 |
| Tabla 18 – 3: Porcentaje de remoción de Color. | 53 |
| Tabla 19 – 3: Comportamiento del pH. | 54 |

ÍNDICE DE GRAFICAS

| | |
|--|-----------|
| Gráfico 1 – 3: Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la EPMAPA-S sector vía a Tambache..... | 32 |
| Gráfico 2 – 3: Conducta de la Turbiedad Inicial entre un rango de 0 – 50 NTU frente a la Dosis Óptima | 46 |
| Gráfico 3 – 3: Comportamiento de la Turbiedad Inicial frente a la Dosis Óptima | 47 |
| Gráfico 4 – 3: Relación entre la Turbiedad Inicial frente a la Dosis Óptima..... | 49 |
| Gráfico 5 – 3: Relación entre la Color Inicial frente a la Dosis Óptima | 50 |
| Gráfico 6 – 3: Porcentaje de remoción de turbiedad..... | 52 |
| Gráfico 7 – 3: Porcentaje de remoción de Color..... | 54 |
| Gráfico 8 – 3: Comportamiento del pH | 56 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1-1: Esquema del funcionamiento de los reactivos de coagulación y floculación. | 10 |
| Figura 2-1: Coagulación de absorción. | 15 |
| Figura 3-1: Coagulación de barrido. | 15 |
| Figura 4-1: Proceso de coagulación. | 16 |
| Figura 1-3: Diagrama de proceso de tratamiento de agua potable de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del cantón Sucúa | 32 |

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Formato para la toma de datos de las pruebas
- ANEXO B:** NTE INEN 1108 Quinta Revisión Tabla 1
- ANEXO C:** Equipo de prueba de jarras
- ANEXO D:** Turbidímetro HACH 2100Q
- ANEXO E:** Medidor de pH AOTKLON
- ANEXO F:** Colorímetro HACH DR/890
- ANEXO G:** Materiales para la realización de la prueba de jarras
- ANEXO H:** Balde recolector de muestra
- ANEXO I:** Realización de la prueba de jarras.
- ANEXO J:** Planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa.
- ANEXO K:** Curva de Calibración de Sulfato de Aluminio Tipo A para la EPMAPA – S.

ÍNDICES DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

| | |
|----------------------|---|
| NTE | Norma Técnica Ecuatoriana |
| INEN | Servicio Ecuatoriano de Normalización |
| EPMAPA – S | Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Sucúa |
| NTU | Unidad Nefelométrica de Turbidez |
| UPC | Unidades de Platino Cobalto |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| °C | Grados centígrados |
| mg/L | Miligramos por Litro |
| rpm | Revoluciones por minuto |
| mL | Mililitros |
| L/s | Litros por segundo |
| m³ | Metros cúbicos |
| J1 | Jarra N°1 |
| J2 | Jarra N°2 |
| J3 | Jarra N°3 |
| J4 | Jarra N°4 |
| J5 | Jarra N°5 |
| J6 | Jarra N°6 |

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A en la planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa en función a los parámetros físicos – químicos de turbiedad, color y pH mediante la utilización de prueba de jarras. El proceso inició con la toma de 27 muestras simples de agua cruda durante todo el proyecto en días establecidos previamente, las muestras fueron analizadas al comienzo de cada prueba, tomando datos iniciales para luego ser comparados con los resultados después de la aplicación de las dosis de Sulfato de Aluminio Tipo A en cada una de las seis jarras del test, a continuación, se procedió a determinar si las muestras tratadas cumplen con los requisitos para agua potable planteados en la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1108 Requisitos, Agua Potable. Los resultados obtenidos dieron como resultado la construcción de la curva de calibración del coagulante con respecto a la turbiedad a través de la fórmula $y = 0,0728x + 13,589$; en conclusión, dicho tratamiento ayudará a optimar los procesos de coagulación y floculación del agua y facilitará a los operadores de la planta el cálculo de la dosis adecuada evitando que exista una sobredosis o una deficiencia coagulante.

PALABRAS CLAVES: <BIOTECNOLOGIA>, <ANALISIS DER AGUA>, <COAGULACIÓN> <FLOCULACIÓN> <SULFATO DE ALUMINIO> <CURVA DE CALIBRACIÓN> <PRUEBA DE JARRAS> <DOSIS ÓPTIMA>



SUMMARY

The following investigation's objective was to determine the optimal dose of coagulant Aluminum Sulfate Type A in the drinking water treatment plant of the Sucúa canton, based on the physical-chemical parameters of turbidity, color, and pH through the use of a jug test. The process began with the collection of 27 simple samples of raw water throughout the project on days previously established, the samples were analyzed at the beginning of each test, taking initial data and then being compared with the results after the application of the doses of Type A Aluminum Sulfate in each of the six jugs of the test, then it proceeded to determine if the treated samples meet the requirements for drinking water set forth in the Ecuadorian Technical Standard INEN 1108 Requirements, Drinking Water. The results were the construction of the coagulant calibration curve with respect to turbidity through the formula $y = 0,0728x + 13,589$; In conclusion, this treatment will help to optimize the processes of coagulation and flocculation of the water and it will facilitate to the operators of the plant the calculation of the appropriate dose avoiding that there is an overdose or a coagulant deficiency.

KEYWORDS: <BIOTECHNOLOGY>, <DER WATER ANALYSIS>, <COAGULATION>
<FLOCCULATION> <ALUMINUM SULFATE> <CALIBRATION CURVE> < JUG TEST>
<OPTIMAL DOSE>



INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa tiene un sistema convencional para la potabilización del agua, para los procesos de coagulación y floculación se utiliza Sulfato de Aluminio tipo A, cuya función de remover material suspendido, sustancias orgánica e impurezas, mediante la formación de flocs suministrando iones que son aptos para neutralizar las cargas eléctricas de la mayor parte del material que se encuentra suspendido en el agua, los flocs formados deben tener ciertas características para ser precipitados tales como deben tener un tamaño adecuado que no sea muy ligero ni muy pequeño ya que esto provocaría un decantación insuficiente enturbiando los filtros y por otro lado el floc no debe ser frágil ya que se rompería en pequeñas partículas que atravesarían los filtros alterando las calidad del agua.

La planta anteriormente indicada no opera con una dosis de coagulante óptima, la adición se lo hace únicamente observando el nivel de turbiedad que presenta el agua sin cálculos y basándose en el modelo estándar con el que fue diseñado la planta, hace aproximadamente 10 años, tomando en cuenta que las condiciones actuales han cambiado considerablemente en este tiempo.

La cantidad de coagulante Sulfato de Aluminio tipo A ($Al_2(SO_4)_3$) debe ser proporcional a la turbidez que presenta el agua. Si los cálculos no son correctos y la dosificación no es la adecuada, se puede tener un exceso de coagulante causando una sobredosificación y adicionalmente pérdidas económicas; mientras que si la cantidad de coagulante es menor de la requerida no se tendrá un buen proceso de coagulación, por lo que se alteran otros parámetros físicos y físico – químico como turbidez, color y pH.

Por lo anteriormente indicado el presente trabajo tiene la finalidad de establecer la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio tipo A en el tratamiento de agua de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Sucúa, mediante la prueba de jarras considerando los parámetros de turbidez, color y pH.

ANTECEDENTES

En la actualidad la humanidad tiene como principal desafío asegurar la cantidad suficiente de agua para su bienestar manteniendo la integridad y la recuperación de las cuencas hidrográficas.

El principal problema es que la disponibilidad de agua cada vez es menor ya que la demanda se ha incrementado por el crecimiento poblacional. Hay tres fines principales en los que se presenta un gran aumento del consumo de agua los mismo que son: el agropecuario, doméstico e industrial, estos han creado y siguen creando una seria degradación en la calidad de recurso provocado por los vertidos de residuos contaminantes (hidrocarburos, fertilizantes, metales pesados), muy superior a la tasa de asimilación de los ecosistemas naturales (Aquastat, 2015)

Los tres fines de consumo de agua a nivel global están proporcionadas de la siguiente manera alrededor de 70% agropecuario, 11% doméstico y 19% industriales. (Izquierdo, 2015)

El Cantón Sucúa se encuentra al Sudeste de la Región Oriental, en la Provincia de Morona Santiago, ubicado entre los 02° 08' 35'' a los 02° 54' 45'' de latitud Sur y de los 77° 25' 45'' a los 77° 58' 20'' de longitud Oeste, con las siguientes delimitaciones naturales: Al norte: Río Arapicos y Yawientza, al sur la confluencia del Río Tutanangoza y Upano, al este por elevaciones montañosas que modifican el Valle, al oeste con las estribaciones de la cordillera oriental de los Andes, las ciudades más cercanas son: a 18 Km. al norte se encuentra la ciudad de Macas capital de la provincia, a 16 Km. hacia el sur está ubicado el cantón Logroño (GADM del Cantón Sucúa, 2017).

El cantón Sucúa el uso de agua de tipo doméstico es potabilizada en la planta de tratamiento que posee el cantón la cual está ubicada en el Kilómetro 1 ½ de la vía Tambache y esta utiliza un sistema convencional para la purificación del agua. Para los procesos de Coagulación y Floculación esta planta no cuenta con una curva de calibración para el uso de coagulante Sulfato de Aluminio tipo A, más bien para estos procesos se está usando una medida estándar lo cual no es óptimo debido a que en se debe realizar un análisis previo mediante prueba de jarras y determinar qué cantidad de dicho compuesto es óptimo de acuerdo a las medidas de determinados parámetros

OBJETIVOS

General

- Determinar la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A en la planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa en función de la turbiedad, color y pH.

Específico

- Realizar ensayos a escala de laboratorio empleando el equipo de prueba de jarras aplicando distintas dosis de coagulante Sulfato de Aluminio tipo A con una pureza del 17%, de acuerdo a los parámetros físico – químicos de turbiedad, color y pH
- Definir la dosis óptima de coagulante después de realizada la prueba de jarras la misma que estará basada en los parámetros físicos y químicos.
- Realizar una curva de calibración con los resultados obtenidos en la prueba de jarras, donde se establecerá la dosis de coagulante con relación a los parámetros que se analizarán.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. El agua potable en el mundo

En 2015, el 71% de la población mundial (5200 millones de personas) utilizaba un servicio de suministro de agua potable gestionado de forma segura. Es decir, ubicado en el lugar de uso, disponible cuando se necesita y no contaminado. Ochocientos cuarenta y cuatro millones de personas carecen incluso de un servicio básico de suministro de agua potable, cifra que incluye a 159 millones de personas que dependen de aguas superficiales. Los contaminantes por heces y a la vez esta agua contaminada transmite enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, estimando 502.000 muertes por diarrea al año (Organización Mundial de la Salud - OMS y el UNICEF, 2018).

1.2. Agua y la salud.

1.2.1. El agua

Es vector de peligros físicos, químicos y biológicos importantes para el hombre, por lo que para su consumo es necesario verificar las condiciones de salubridad de la misma, para determinar su aptitud para el consumo humano (Simanca et al., 2017).

1.2.1.1. Características del agua

Coliformes totales. -Los coliformes totales son ampliamente utilizados a nivel mundial como indicadores de potabilidad por ser fáciles de detectar y cuantificar. El término abarca bacterias de tipo bacilos, Gram negativas que crecen en presencia de sales biliares o de otros compuestos con propiedades similares de inhibición y que fermentan lactosa a 35 y 37°C produciendo ácido, gas y aldehído en un plazo de entre 24 y 48 horas.

Coliformes fecales. -Son todos los bacilos cortos que difieren del grupo *coliforme* total por su capacidad para crecer a una temperatura de entre 44 y 45 °C. Abarca los géneros *Escherichia* y parte de algunas especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. De ellos, solo *E. Coli* es específicamente de origen fecal y se encuentra siempre presente en las heces de humanos, otros

mamíferos y gran número de aves. Los coliformes fecales no se encuentran en aguas y suelos que no han estado sujetos a contaminación fecal.

1.2.1.2. Características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas se refieren, en general, a mediciones indirectas de componentes químicos presentes en el agua que pueden o no ser tóxicos.

El color. -Es importante, ya que da una indicación rápida de la calidad del agua. Además, junto con el olor y el sabor determina la aceptación por parte del consumidor. Hay dos tipos de color:

- El verdadero, producido por sustancias disueltas y que es el parámetro considerado en la norma;
- El aparente, provocado por el color verdadero más el efecto de los sólidos en suspensión.

El olor y el sabor. -Son producidos tanto por compuestos inorgánicos como orgánicos volátiles y lábiles que se encuentran en el agua desde su origen, como resultado de procesos biológicos, por contaminación humana o por la interacción de compuestos durante la potabilización. El olor y el sabor se deben a un amplio número de compuestos (más de 5000) y su presencia no es un indicador directo de la existencia de sustancias dañinas (Comisión Nacional del Agua, 2007, pp. 52-55).

La turbiedad. -Es la incrementación del color aparente del agua y se debe a la presencia de materia suspendida orgánica e inorgánica como la arcilla, sedimentos, plancton y organismos microscópicos. Lo que se mide como turbiedad es la pérdida de luz transmitida a través de la muestra por difracción de los rayos al chocar con las partículas, y por ello depende no solo de su concentración sino también de su tamaño y forma (Comisión Nacional del Agua, 2007, pp. 52-55).

1.2.1.3. Características químicas

Se explica que, de manera natural, el agua contiene sustancias inorgánicas, que comúnmente se utilizan para el consumo humano como es el caso del arsénico, selenio, cromo, cobre, molibdeno, níquel, zinc y sodio. Algunas de ellas son elementos esenciales en la nutrición de hombre. Otras forman parte de los ciclos naturales, como los nitratos y nitritos dentro del ciclo del nitrógeno (Comisión Nacional del Agua, 2007, pp. 52-55).

pH. -Su pH es neutro, es decir, tiene una medida de 7, de manera que no es una sustancia ni ácida ni básica. Si la medida cambia es porque hay otras sustancias disueltas en ella.

Dureza. -Su dureza se debe a sales de calcio, magnesio, sodio y otros elementos más. La dureza entonces depende de la cantidad de impurezas que contenga el líquido.

Salinidad. -Como su nombre lo indica, es la cantidad de sal disuelta en el líquido y nos ayuda a determinar si se trata de agua dulce o agua de mar.

Conductividad. -Es la capacidad de este líquido de conducir la electricidad y en este sentido se tienen distintos casos. El agua pura, contrario a lo que se puede pensar, es un aislante, pero cuando hay sustancias disueltas en ésta es cuando ya se vuelve un conductor.

Detergentes. -Son los residuos de los detergentes que se convierte un agente espumante que parten de la acción que tiene con el agua formando espuma sobre ella y siendo no solubles del cual es un problema en el proceso de coagulación y sedimentación (Guananga Pujos, 2013, pp. 5-8).

Alcalinidad. -Es la reacción de un ácido neutralizado e iones del agua, esto ocurre cuando existe desechos industriales en aguas naturales (Guananga Pujos, 2013, pp. 5-8).

Aceites y grasas. -Son contaminantes de alto riesgo para la salud de ecosistema como de la humanidad, generando problemas de mal olor, sabor y desmejorando la estética de las reservas naturales como de especies y espacios naturales.

Hierro y Manganeso. -Causan problemas de sabor, manchas, obstrucciones en materiales de uso de esta agua que contenga en exceso este compuesto como también el lavado de ropa y en modificación de color propio de cada objeto.

Sulfatos. -El mayor problema es que da mal sabor, olor, es corrosivo, menor pH, son laxantes con Mg y Na que causan averías en las tuberías y artefactos (Guananga Pujos, 2013, pp. 5-8).

Zinc. - La presencia de este causa una desventaja en el sabor ya que da sequedad intensa, amargor y genera con sólidos similares a la arena.

Cobre. -Presencia de corrosión y en su mayoría mal sabor.

Nitratos. -Causa enfermedades en la persona cuando contiene un concentración mayor a diez miligramos por litro de agua, siendo toxico el agua (Guananga Pujos, 2013, pp. 5-8).

Fluoruros. – El alto contenido de esta sustancia provoca manchas en el esmalte de los dientes pero si es menor su contenido no causa problemas ni en ecosistema ni a la persona que lo ingiere.(Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

Pesticidas. –Son compuestos y sustancias que son utilizados en la agricultura dependiendo de su procedencia química tendrá efectos de acumulación en tejidos de los seres vivos y no serán metabolizados causando un problema cancerígeno (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

Sustancias tóxicas. –El inconveniente se produce cuando es adquirido en cantidades mayores a los valores permitidos ya que son contaminantes inorgánicos. En la siguiente tabla detallamos los principales contaminantes (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

Tabla 1 – 1: Sustancias tóxicas que puede presentar el agua.

| ELEMENTO | CARACTERÍSTICAS |
|----------|---|
| As | Metaloide que puede ser aguda o crónicamente tóxico para el hombre. |
| Ba | Altamente tóxico y causa serios trastornos cardiacos, vasculares y nerviosos. |
| Cd | Potencialmente tóxico y su digestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones. |
| CN | No común, sin embargo, es tóxico |
| Hg | Aguda y crónicamente tóxico. |
| Ag | No común en aguas, produce un descoloramiento permanente e irreversible de la piel, los ojos y las membranas mucosas. |
| Cr | Muy escaso en aguas naturales, siendo indicador de contaminación industrial. |
| Pb | Aguda o crónicamente tóxico. |

Fuente: Cuananga, 2013, citado en (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

Realizado: Yajaira Chele, 2019

1.2.2. La salud del agua

El agua que bebemos en la mayoría de ocasiones se contamina con sustancias químicas, bacterias, accionares o funciones humanas incluyendo así las fábricas, las aguas residuales y la escorrentía de granjas (Science for a healthy California - OEHHA, 2019).

Es así que el agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis.

Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud. Esto es especialmente cierto en el caso de los centros sanitarios en los que tanto los pacientes como los profesionales quedan expuestos a mayores riesgos de infección y enfermedad cuando no existen servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene. A nivel mundial, el 15% de los pacientes contraen infecciones durante la hospitalización, proporción que es mucho mayor en los países/año (Organización Mundial de la Salud - OMS y el UNICEF, 2018), de comunidades pobres y las personas de áreas rurales están expuestas a los contaminantes en el agua potable (Science for a healthy California - OEHHA, 2019).

1.3. Calidad del agua potable

La calidad del agua no genera afecciones en la salud y garantiza un buen crecimiento económico. Esta sustancia es primordial para la salud del cual es parte de constante evaluaciones de riesgo, estratégico que implica en el desarrollo tanto político como público, con enfoque a la sostenibilidad del ambiente (Villena Chávez, 2018).

1.3.1. Los principales factores que afectan la oferta y/o la demanda de agua.

Los factores, en ausencia de sistema de gestión suficientemente sólido, pueden generar desequilibrios entre la oferta y la demanda en el mediano o largo plazo, con riesgos para la producción inaceptables, generando situaciones de desequilibrio, son:

- a) Impacto de la variabilidad y del cambio climáticos
- b) Cambios en el sistema de recursos hídricos (demandas, tecnologías, etc.), debido a la dinámica económica y social presente en las cuencas.
- c) Explotación sin control de las aguas subterráneas
- d) Deterioro de las cuencas altas de los ríos;

(Peña, 2016 citado en Banco Interamericano de desenvolvimiento - BID, 2018, p. 11):

1.3.2. Los factores que afectan a la calidad del agua.

Factores que son: físicos, químicos y biológicos como son el aumento de la población humana, la masiva urbanización que afecta no sólo a grandes centros urbanos, el vertimiento de nuevos patógenos y productos químicos empleados en las diversas industrias, el cambio climático y el crecimiento de especies invasoras en los ecosistemas (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018a).

1.4. Planta de tratamiento de agua potable.

Una planta de tratamiento para agua potable está compuesta por una estructura arquitectónica, equipos y materiales los cuales van a ser utilizados para llevar a cabo procesos que permitan la transformación de agua cruda en agua potable.

Caracterización del agua cruda: Contiene información de las características físicas, químicas y microbiológicas pudiendo con esta información escoger el mejor método para su tratamiento. (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

1.4.1. Tratamiento de agua potable

1.4.1.1 Captación

Consiste en recolectar y almacenar agua de diferentes fuentes para ser usada de forma benéfica para el ser humano, las cuales son tratadas mediante un sistema de rejillas y compuertas que retienen contaminantes o materiales de mayor tamaño como maderas, plástico, etc. Esto lo hacen con la única razón de evitar obstrucciones en el acueducto o canal abierto (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

1.4.1.2 Conducción

Es un medio estructural conformado de accesorios o materiales de tubería de abastecimiento a los tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento como de distribución desde cada fuente a su final disposición.

- A GRAVEDAD: Traspaso de agua por energía cinética y potencial.
- POR BOMBEO: Transporte de agua por presión es decir se utiliza energía necesaria para su transportación (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

1.4.1.3 Pre – sedimentación

Consiste que los sólidos presentes en al agua se sedimenten en el fondo o en la parte inferior del medio en que se encuentre (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

1.5. Coagulación en el tratamiento de aguas

1.5.1. La coagulación

Es un compuesto químico que desestabiliza al agua contenida de partículas por acción de coagulantes, formando así los flóculos siendo estas partículas coloidales separadas en el agua. Es ahí que los coloides se separan del agua formando un precipitado que es capaz de neutralizar la carga del coloide electronegativo en su mayoría (Camacho, 23:29:48 UTC).

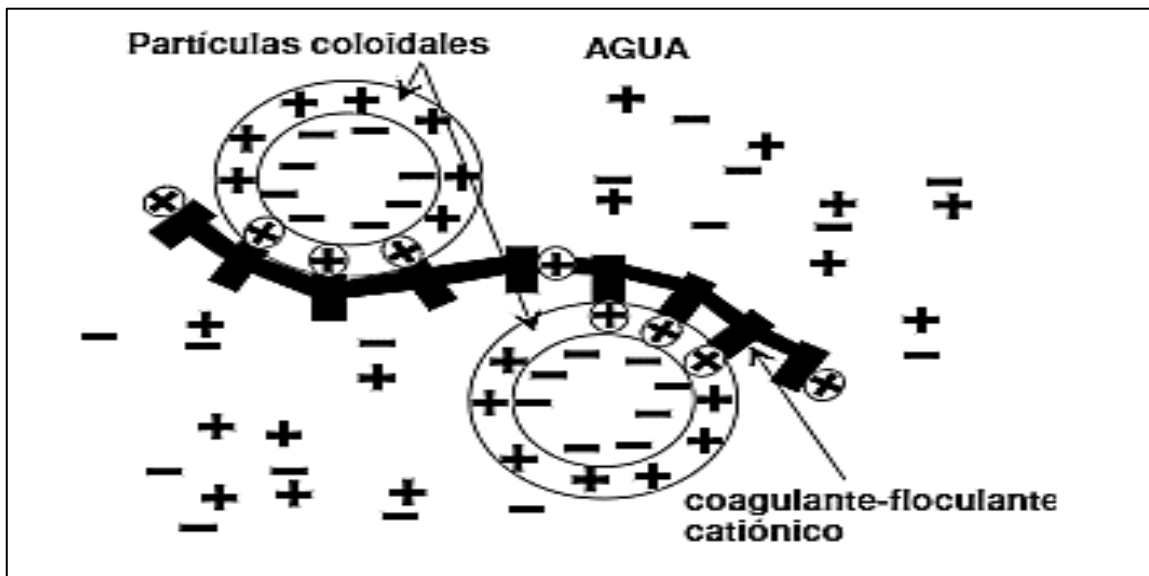


Figura 1-1: Esquema del funcionamiento de los reactivos de coagulación y floculación.

Fuente: (Tejero et al., 2018).

Con los reactivos suministrados forman los procesos de precipitación eliminando sólidos disueltos ya que en ellas se busca la formación de sales insolubles. Siendo diferente la sedimentación con la floculación (Tejero et al., 2018).

Las reacciones de la suministración del electrolito de carga con el agua forman coloides de tamaño menor o mayor dependiendo de la cantidad de coagulante de alto peso molecular y solubles en agua (Tejero et al., 2018).

1.5.2. Coagulantes

Son compuestos químicos que al adicionar al agua ocasiona que las sustancias suspendidas se junten aumentando así su peso y tamaño de esta manera desciendan hacia el fondo. Las partículas coloidales provocan cambios físicos en el agua, adsorbiendo iones del medio y cargándose

negativamente. Al neutralizar las cargas se genera una nube de iones que rodean los coloides para que se puedan aglomerar (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

- Coagulación por neutralización de la carga:
Coloides con diferentes cargas, se mezclan en agua por ejemplo el alumbre o sales de hierro al agua (Castrillón Bedoya y Giraldo, 2012, p. 33).
- Coagulación por disminución del espesor:
Forma una doble capa la una llamada distancia d y la otra el valor potencial Z formando un punto crítico de concentraciones de iones (Castrillón Bedoya y Giraldo, 2012, p. 33).

El proceso de coagulación se usa normalmente en los siguientes aspectos:

- Remoción de turbiedad, orgánica y/o inorgánica que no se sedimenta de forma rápida.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

1.5.2.1. Dosis óptima del coagulante.

La concentración del coagulante a suministrar durante la tratabilidad del agua a potabilizar es dependiendo del grado de turbidez que posee el agua cruda. El volumen del coagulante será considerado en mayor concentración cuando se forme flóculos de mayor compactación y la rapidez de sedimentarse permitiendo a su vez la reducción de turbiedad. Con esta explicación no existe una cantidad descrita para que sea óptimo el coagulante dependerá de la naturaleza y composición del agua pero si existe una forma de simulación matemática para la suministración del coagulante cuando se elabora ensayos a nivel de laboratorio en los procesos de coagulación y floculación métodos que se puede aplicar antes de la suministración directa en el medio a tratar (Barajas Garzón y León Luque, 2015, p. 24).

1.5.2.2. Principales coagulantes

Los coagulantes principales utilizados son:

- Sales de (Al) aluminio

- Sales de (Fe) hierro
- Coagulantes metálicos
- Coagulantes de origen vegetal pueden ser coadyuvantes en el proceso de coagulación, formación de flóculos (Barajas Garzón y León Luque, 2015).
- Coagulantes polielectrolitos o ayudantes de coagulación
- Polielectrolitos catiónicos empleada con una sal metal reduciendo el fango presente en al agua (Camacho, 23:29:48 UTC).

Tabla 2 – 1: Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación.

| Tipo de agua | Tipo de coagulación | Requerimiento. |
|---|--|---|
| Baja concentración de coloides, baja alcalinidad. | Formación de precipitado. Floc de barrido. | Alta dosis de coagulantes. Adición de alcalinidad o partículas, o ambas. |
| Baja concentración de coloides, alta alcalinidad. | Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides. (pH 4 a 7). | Dosis de coagulantes incrementa con concentración de partículas, adición de alcalinidad |
| Alta concentración de coloides, baja alcalinidad | Adsorción de polímeros, metálicos positivos y precipitaciones de hidróxidos (pH>7) | Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas. |

Fuente: (Cárdenas, 2000, p. 28)

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

1.5.2.2. Factores que influyen en la coagulación.

Las condiciones y variables descritas a continuación deben ser tomadas muy en cuenta ya que de estas dependerá la optimización del coagulante, encontrando así la cantidad adecuada de coagulante(Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8)

Tamaño de las partículas. –Cuando tienen una medida en su diámetro de 1μ a 5μ son considerados como núcleos de tamaño microscópico caso contrario si su diámetro es superior a 5μ se los considera demasiado grandes. El tamaño adecuado para entrar en floc o a flocular es menor a 5μ

Temperatura. –La formación del floc es mejor en temperaturas frías pero el tiempo de formación es lenta, contrariamente a temperaturas elevadas no se forma el floc y tiempo es acelerado.

pH. –El pH adecuado dependerá de la naturaleza del agua, mientras menor sea la concentración del coagulante será mayor la sensibilidad del floculo a cambios de pH (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

Relación cantidad-tiempo. –La concentración del coagulante dependerá del tiempo a la formación siendo inversamente.

Alcalinidad. –Es la variación que tiene el pH entre el agua a tratar y el coagulante, teniendo una importante relación de formación de floculo.

Influencia de las Sales Disueltas. –La alteración de la escala de pH óptimo para la floculación entre la estimación del pH y cantidad del coagulante entre la cantidad residual del efluente frente al coagulante.

Influencia de la Dosis del Coagulante. -Tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación:

- A poca cantidad del coagulante, la formación de los microfloculos es muy escaso, con valores de turbiedad elevada.
- Alta cantidad de coagulante se forma gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños de velocidades de sedimentación muy bajas, con turbiedad igualmente elevada.
- La selección del coagulante influye sobre la buena o mala calidad del agua clarificada y el buen o mal funcionamiento de los decantadores principalmente.

(Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

Influencia de Mezcla. -La intensidad con la que se lleve a cabo la agitación durante el transcurso que se adiciona el coagulante definirá si la coagulación llega a ser completa, a turbulencias desiguales se tendrán porciones de agua con mayor, menor o casi nada de coagulante. En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas: (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8)

- Mezcla rápida. -Primera etapa enérgica y de corta duración 60 s., máx. Donde se inyecta y dispersa el coagulante dentro del volumen del agua a tratar en una zona de fuerte turbulencia.
- Mezcla lenta. -Segunda etapa que desarrolla microfloculos, el tiempo de mezcla no excede de 15 min. Un tiempo excesivo puede originar una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación.

Turbiedad

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante con la que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).
- La cantidad de coagulante es indistinto de una elevada o baja turbiedad ya que cuando la turbiedad aumenta no es necesario gran cantidad de coagulante debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).
- Cuando la turbiedad es muy alta es conveniente realizar una pre – sedimentación (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

Sistema de Aplicación del Coagulante. – En la fase de mezcla rápida el coagulante se debe agregar al agua de manera constante y uniforme. El sistema de dosificación del coagulante debe ser fácilmente regulable y su caudal debe ser constante. (Guananga Pujos, 2013, pp. 5–8).

1.5.2.3. Mecanismos de actuación del coagulante.

- **Compresión de la doble capa eléctrica:** Sucede cuando se agrega una cantidad de electrolitos que neutralizan la cual tenemos el resultado del espesor de doble capa eléctrica se disminuye acercándose entre las partículas estrechamente (Sela, 2018).
- **Adsorción electrostática:** Ocurre cuando reduce y desestabiliza al coloide en medio acuático y se neutraliza la carga, estos efectos se da la eventualidad cuando se agrega coagulantes inorgánico ya sea alumbre o sulfato ferroso (Sela, 2018).
- **Adsorción y puente:** Cuando el puente de una molécula polímero orgánico natural o sintético adsorbe una partícula coloidal de un sitio activo y otra coloidal a otro sitio de la partícula, formando así flóculos grandes (Sela, 2018).

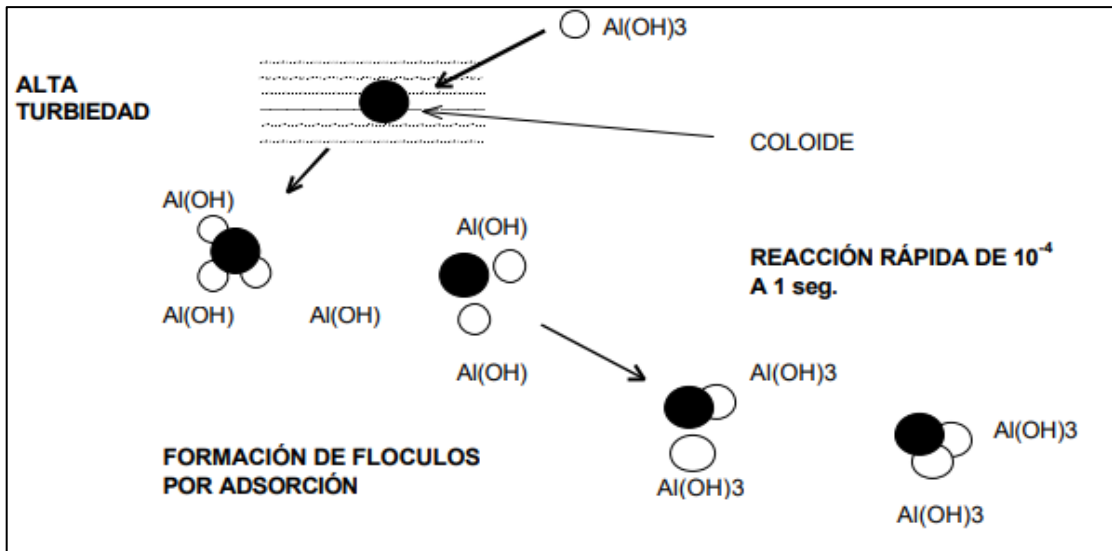


Figura 2-1: Coagulación de absorción.

Fuente: (Ruelas A, 2011), (Cárdenas, 2000, p. 26)

4. Coagulación de barrido: Al poner mayor concentración de coagulante genera de sal de aluminio o de hierro ocurrirá en su mayoría precipitaciones de óxido de metal hidratado limitando su solubilidad en el medio aplicado (Sela, 2018). El sulfato de aluminio ya sea líquida o sólida se puede administrarlo y para mejorar los efectos del coagulante se puede adicionar cal, carbonato de sódico (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).

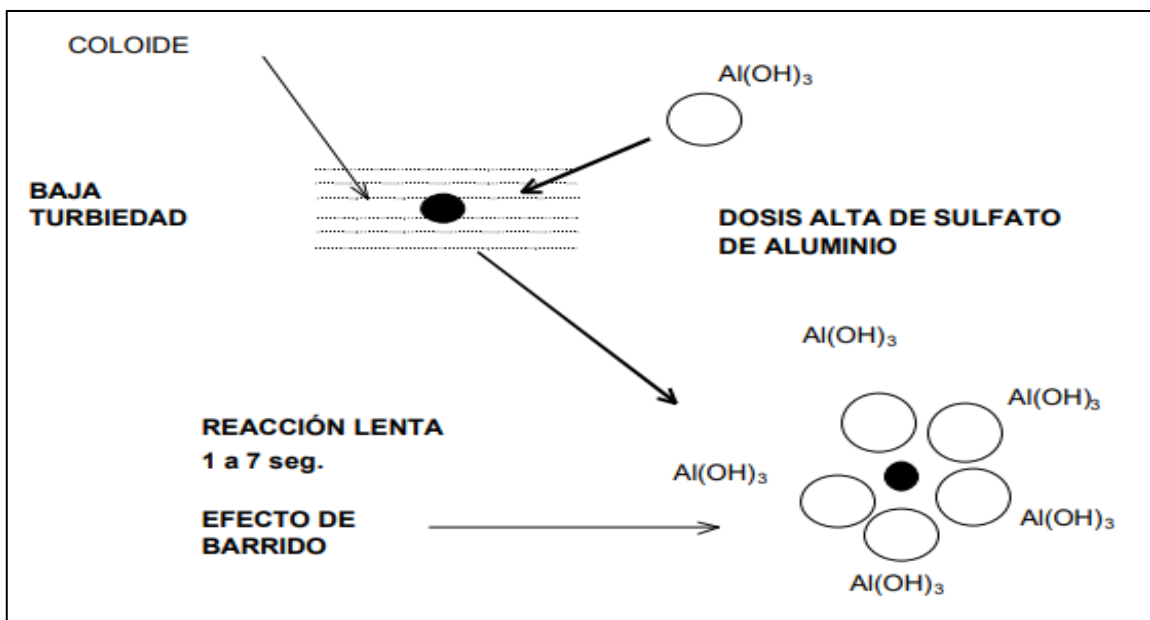


Figura 3-1: Coagulación de barrido.

Fuente: (Ruelas A, 2011), (Cárdenas, 2000, p. 26)

1.5.1.3. Etapas de la coagulación

- Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de compuestos de polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van der Waals.
- Formación de los flóculos.
- Precipitación del hidróxido metálico.
- Acción de barrido.

(Cárdenas, 2000, p. 26)

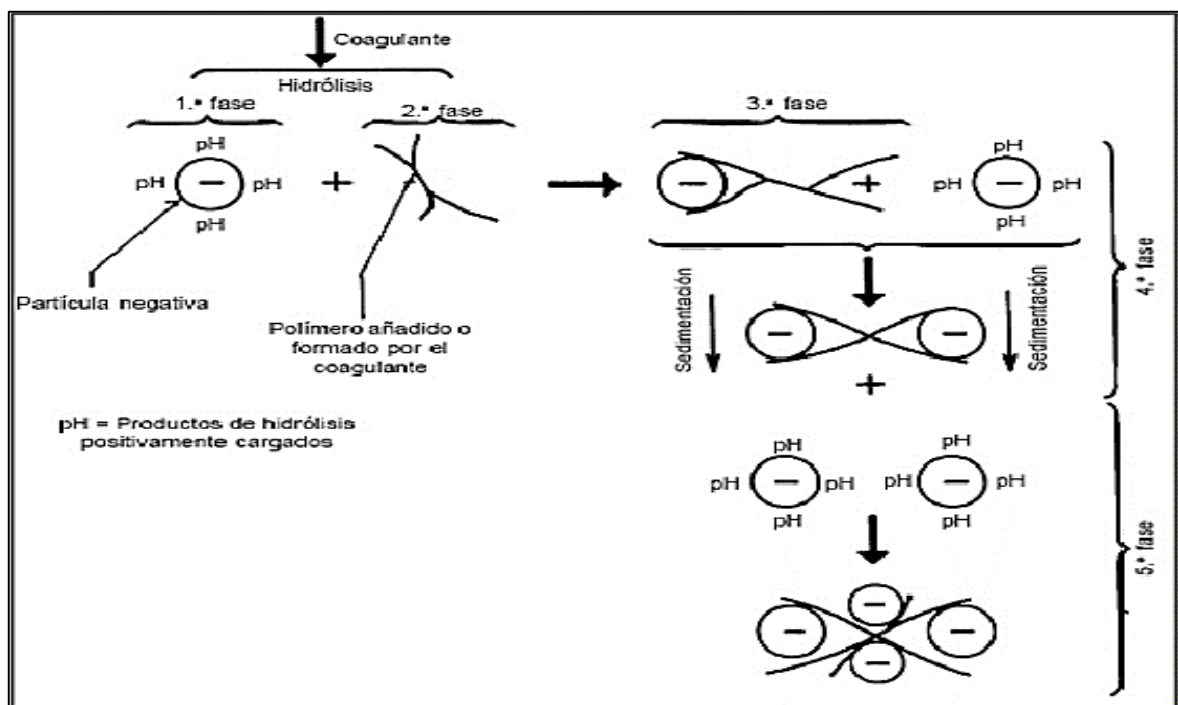


Figura 4-1: Proceso de coagulación.

Fuente: (Ruelas A, 2011), (Cárdenas, 2000, p. 26)

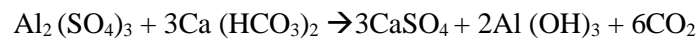
1.6.2. Sales de aluminio

1.6.2.1. Sulfato de aluminio

Es un compuesto inorgánico que forma un floc ligeramente más pesado, entre los más conocidos tenemos: el sulfato de aluminio o alumbre hidratado $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, es el compuesto comercial más económico y es ampliamente usado como floculante en la purificación de agua potable, además de este también se usa el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de poli – aluminio (Arboleda, 2000), citado en (Medina Solano, 2018a, p. 19).

La alcalinidad en el agua actúa como un amortiguador que evita el brusco descenso del pH, esto se debe cuidar, pues el rango del pH para las sales de aluminio va desde 6.5 a 8.0. Este compuesto es usado en industrias como: papeleras, para tratamiento de efluentes, en el tratamiento de aguas residuales y de agua potable, en la industria manufactura química en la producción de jabones de aluminio, en la farmacéutica como astringente en la preparación de drogas y cosméticos (Medina Solano, 2018a, p. 19).

El sulfato de aluminio ya sea líquida o sólida se puede administrarlo y además puede adicionarse en el tratamiento cal, soda caustica o carbonato sódico para mejorar el efecto de coagulación de las partículas (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).



Dosis: en clarificación, 10 a 150g/m³ expresada en producto comercial según la calidad del agua bruta. En tratamiento de aguas residuales, de 100 a 300g/m³, según la calidad del agua residual y la exigencia de calidad (Camacho, 23:29:48 UTC).

1.6.2. El Sulfato de Aluminio Tipo A

Es una sal inorgánica, que contiene 14 moles de agua, es manufacturada a partir de una fuente de Aluminio libre de hierro y ácido Sulfúrico (MercadoLibre Ecuador Cía. Ltda., 2019).

1.6.2.1. Aplicaciones

Es utilizado en las etapas de coagulación y floculación en los procesos de tratamiento de agua potable, haciendo que este separe las partículas sólidas tipo coloide.

En solución líquida ayuda a la reducción de tiempos de mantenimiento, material insoluble, mayor facilidad de limpieza y un tratamiento económico del agua (Industrial - ARIS, 2018) (MercadoLibre Ecuador Cía. Ltda., 2019).

1.7. El coagulante sulfato de aluminio frente al medio ambiente.

El coagulante más usado es el sulfato de aluminio, el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico y medioambiental debido a su uso es muy alto. Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar, por otra parte, los lodos remanentes generan tierras inertes no aptas para algún cultivo; los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido que grandes cantidades pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer (Choque Quispe et al., 2018).

1.8. La floculación

En el tratamiento de agua la floculación es el proceso que le sigue a la coagulación y consiste en la agitación de la masa coagulada; este método permite la aglomeración llegando así a aumentar el tamaño, peso de los flóculos para que de esta manera lleguen a sedimentarse y posteriormente la remoción de los flóculos presentes en el recurso sea más fácil y efectiva (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).

1.8.1. Uso de floculantes

Dificultades que se pueden presentar en un proceso de floculación:

- Formación de floculantes pequeños de lenta sedimentación.
- Formación lenta de flóculos.
- Flóculos frágiles que fragmentan en los procesos de acondicionamiento del lodo.
- Formación de microflóculos que asan por los filtros.

(Berbel, 2015)

1.8.2. Factores que influyen en la Floculación:

Tiempo de detención. – Es la rapidez con la que las partículas se juntan, la velocidad o rapidez está directamente relacionada con el tiempo de detención de las mismas (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).

Gradiente de velocidad. – Va a depender de la velocidad que tengan las partículas para aglomerarse, el gradiente tiene un límite máximo permitido que evita que el floc se desintegre o se rompa (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).

Concentración y naturaleza de las partículas. -Este proceso es directamente proporcional entre la velocidad que se genera el floc – presentes en el volumen concentrado de partículas y el tamaño inicial de la solidos disueltos en el agua (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).

1.8.3. Los tipos de floculación son:

a) Pericinética: Son colisiones presentes en las moléculas naturales de la cual se induce por energía térmica.

b) Ortocinética: Movimiento del agua produce colisión de partículas (Vargas, s.f. citado por Medina Solano, 2018b, p. 18).

1.8.4. Floculantes empleados en el proceso de Floculación:

Son polímeros de alto pesos moleculares, son moléculas orgánicas solubles en agua conformadas por monómeros. Tenemos como ejemplo de floculantes: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

- Floculantes Minerales. – Por ejemplo, la sílice activada como suministro de coagulante.
- Floculantes Orgánicos Naturales. -Son ácidos manuránicos y glucónicos son los floculantes naturales (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).
- Floculantes Orgánicos de Síntesis. -Estos floculantes son los más utilizados en el proceso de floculación; se obtienen mediante asociación de monómeros sintéticos.

(Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018b).

1.8.5. Coadyuvantes de la floculación

Las dificultades que pueden presentar algunos coloides desestabilizados para formar flóculos pesados que sedimentan bien han dado lugar a la búsqueda de sustancias que ayudan a la formación de estos flóculos (Microsoft Word, 2018, pp. 17–18).

Procesos de floculación son:

- Formación de flóculos pequeños de lenta sedimentación.
- Formación lenta de flóculos.

- Flóculos frágiles que fragmentan en los procesos de acondicionamiento del lodo.
- Formación de microflóculos que pasan por los filtros.

Para eliminar estas dificultades y lograr flóculos grandes y bien formados de fácil sedimentación se han utilizado sustancias y procedimientos muy variados. Los más usados son los siguientes:

- Oxidantes: Como la per cloración, que en parte oxida la materia orgánica y rompe enlaces en los coloides naturales, ayudando a una mejor floculación posterior.
- Adsorbentes: Las aguas muy coloreadas y de baja mineralización en que los flóculos de aluminio o hierro tienen muy poca densidad, coagulan muy bien al añadir arcilla que da lugar a que se adsorba y origine flóculos pesados de fácil sedimentación. Otros adsorbentes son la caliza pulverizada, sílice en polvo y carbón activo.
- Sílice activa: Algunos compuestos inorgánicos pueden ser polimerizados en agua para formar polímeros floculantes inorgánicos. Este es el caso de la sílice activa que presenta una alta efectividad como auxiliar del tratamiento con Alumbre.

(Microsoft Word, 2018, pp. 17–18).

1.9. Ensayo de jarras

Dicho ensayo es la técnica más usada en la potabilización de agua ayudando a determinar las dosis de los químicos necesarios para este proceso. La prueba de jarras a nivel de laboratorio trata de imitar los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. A nivel comercial la prueba de jarra tiene una gran variedad de equipos pero en su totalidad tienen una misma forma de procedes ya que radica en la utilización de jarras con variaciones en la velocidad de agitación (rpm) (Castrillón Bedoya y Giraldo, 2012).

Siendo el Test de Jarras una simulación de los procesos de coagulación y floculación, nos garantiza obtener agua de buena calidad, los flocs son fáciles de separar por decantación; al aplicar diferentes dosis de coagulante se van a formar diversos flóculos los cuales darán deferentes valores de turbiedad. El objetivo del test es determinar las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; tales como: selección del coagulante; selección del pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación y correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción (Días et al., 2007 citado en Pérez Huahaca y López Gonzales, 2017)

Tabla 3 – 1: Algunas especificaciones del equipo test de jarras.

| Característica | Rango |
|-----------------------|--------------|
| Velocidad baja | 0-25 rpm |
| Velocidad alta | 0-335 rpm |
| Capacidad | 6 jarras |
| Voltaje | 120 |
| Amperio | 0,65 |
| Hertz. | 50-60 |

Fuente: Guamán C, Sánchez T, 2018.

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de la investigación

Este estudio fue de tipo descriptivo y documental.

- Descriptivo debido a que se valoró los parámetros del agua cruda en la planta de tratamiento del cantón Sucúa, utilizando herramientas que permitieron recolectar datos, de esta manera se diagnosticó cual es la dosis óptima del coagulante para cada parámetro físico – químico que se estudió.
- Documental se seleccionó y estudió la información que arrojaron los resultados en cada prueba realizada. De esta manera el diseño de la investigación fue no experimental.

2.2. Obtención de la muestra

2.2.1. Población

La población de la muestra se consideró estrictamente la planta de tratamiento de agua del cantón Sucúa ubicada en el Kilómetro 1 ½ vía a Tambache en el Barrio La Cruz del cantón mencionado.

2.2.2. Tamaño y selección de la muestra

Hubo un solo punto de muestreo y fue el tanque de ingreso de agua cruda de la planta de tratamiento del cantón Sucúa.

2.2.2.1. Técnica de recolección de datos

La toma de muestras se llevó a cabo mediante un muestreo manual. Se emplearon muestras de agua cruda de origen superficial recolectadas dentro de un vertedero, mismo que almacena el agua proveniente de 4 fuentes hídricas tales como: río Blanco, vertiente García Moreno, vertiente Delgado Córdova y vertiente Leticia. El tipo de muestra analizada será una muestra simple que se tomará en el tanque de ingreso de agua cruda, en la estructura de ingreso a la Planta para el proceso de tratamiento de agua.

Para la toma de muestras se siguió las técnicas establecidas en la norma INEN 2176 Anexo B. Las técnicas de muestreo son sumamente importantes para garantizar la calidad del agua que se analizarán en el laboratorio.

Los respectivos análisis físicos – químicos se los realizó en el laboratorio de la Planta de tratamiento de Agua Potable del cantón Sucúa, de acuerdo a un cronograma establecidos por el técnico de la planta el Sr. Ariel Cabrera en base a la disponibilidad de tiempo del mismo.

2.3. Proceso metodológico

2.3.1. Metodología para determinar la dosis óptima del coagulante

Desde el inicio de funcionamiento, hasta la presente fecha la planta de tratamiento de agua potable del Cantón Sucúa no contaba con la dosis adecuada u óptima de coagulante, por lo cual, la planta operaba con una dosis establecida de acuerdo al diseño de la planta. El operador se basaba en la visualización de la calidad del agua con que esta llega al tanque de carga para de esta forma agregar una dosis el Sulfato de Aluminio tipo A.

El principal objetivo que llevó a realizar este estudio fue establecer la curva de calibración del coagulante Sulfato de Aluminio tipo A, basándonos en una sucesión de pruebas de jarras que nos llevó a determinar la dosis adecuada de coagulante para de esta manera construir la curva de dosificación final la misma que nos condujo a un proceso más eficiente.

Para el tratamiento de coagulante el análisis vital es la determinación de una dosis adecuada y eficiente del coagulante. No es adecuado agregar una cantidad inexacta de coagulante ya que esto generaría sobrecostos al proceso de tratamiento del agua o, por el contrario se agregaría una cantidad inferior de la que necesita y la coagulación no sería segura, por ello se planteó la realización de ensayos previos para encontrar la dosis de coagulante óptima que se adicionaría al agua cruda con distintas turbiedades.

Los ensayos se realizaron a nivel de laboratorio mediante la Prueba de Jarras misma que consta de un sistema de 6 vasos simples y paletas hidráulicas que simularan el tratamiento que se le da al agua cruda en la planta, específicamente en la cámara de coagulación y floculación (Izquierdo, 2015).

2.3.1. Preparación del coagulante sulfato de aluminio tipo a nivel de planta y laboratorio.

2.3.1.1. En planta

Para el tratamiento de agua cruda en la planta de tratamiento del cantón Sucúa se utilizó como coagulante el Sulfato de Aluminio Tipo A.

La solución de Sulfato de aluminio fue preparada por el operador de la planta en un tanque de concreto, donde se adicionó un saco de 25 kilogramos de coagulante por cada 1000 litros de agua cruda. Se realizó una agitación constante para una buena homogenización, finalmente se obtuvo una solución final con una concentración de 25 000mg/L (ppm), que equivale a una concentración del 2.5%.

2.3.1.2. En el laboratorio

La solución que se empleó en la realización de las pruebas de jarras partió desde la solución preparada y con la que se trabaja en la planta, se tomó la misma concentración que dispone diariamente en los tanques de preparación.

2.3.1.3. Procedimiento:

- Llenar el tanque hasta los 1000 litros.
- Agregar los 25 kilogramos de Sulfato de Aluminio Tipo A.
- Encender el proceso de agitación en el tanque.
- Mezclar por un tiempo de 15 minutos
- Dejar reposar por 45 minutos

2.3.2. Descripción de la prueba de jarras

La prueba de jarra es la técnica más extensamente utilizada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. Esta prueba radica en utilizar una sucesión de jarras con diferentes dosis de coagulante al mismo tiempo con una variación en la velocidad de agitación. En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos tenemos:

1. pH
2. Temperatura

3. Concentración de coagulante
4. Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
5. Grado de agitación
6. Tiempo de sedimentación

El factor de mayor relevancia en un estudio de coagulación – floculación es el pH, haciendo que una parte de la carga de la partícula sea absorbida por iones OH aumentando así la concentración de los iones H_3O^+ desestabilizando la suspensión coloidal.

El pH debe estar siempre en la zona del mínimo de solubilidad del coagulante usado.

Para sales de hierro la zona de pH es mucho más amplia, alcanzándose el mínimo de solubilidad a $pH > 5$.

El pH del medio en la coagulación tradicional con hidróxido de aluminio ha demostrado que sólo coagula cuando es inferior a 7,4 o superior a 8,5; sin embargo, la eliminación de las materias orgánicas se efectúa mejor en medio ácido (pH inferior a 7,4) o como sucede con el hidróxido férrico que coagula a un pH superior a 6, pero el alto contenido de materia orgánica del agua cruda proporcionará la formación de sales orgánicas de hierro y el agua quedará coloreada.

El coagulador férrico está indicado en la coagulación de aguas cuyo pH está comprendido entre 7,0 y 8,0, zona en la que el sulfato de alumina coagula muy mal. El coagulador cúprico se utiliza en aguas alcalinas, en las que asegura su decoloración. Este tipo de coagulante posee un poder desodorante muy acentuado y evita el desarrollo de algas en decantador y filtros.

La temperatura del agua influye en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del flóculo. Por ello a temperaturas bajas de agua se va a necesitar mayores cantidades de coagulante para que haya una adecuada formación de flóculos y garantizar un buen proceso de coagulación y floculación.

El tiempo de mezcla entre el agua con el coagulante va a depender de la velocidad con que el producto se difunda. El tiempo de coagulación es corto, menos de un segundo, para que la dosis de coagulante sea la adecuada debe haber una neutralización total antes de que se comience a precipitar (Acosta, 2006).

2.3.3. Condiciones de la prueba de jarras

Se mantuvo las condiciones operacionales de la planta de tratamiento de agua potable como son el gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos.

2.3.3.1. Mezcla rápida

La mezcla rápida generó movimiento en el contenido de cada jarra con el propósito de que las partículas suspendidas hagan contacto con los reactivos químicos neutralizando sus cargas, desestabilizando y haciendo que las partículas se junten en un periodo de tiempo corto.

El periodo de tiempo con el que se llevó a cabo la mezcla rápida dependió del tipo de coagulante que se utilizó. Por ejemplo, los polímeros tienden a distribuirse en un lapso de tiempo mayor en comparación con los iones metálicos ya que su molécula es mayor es por ello que necesitará mayor tiempo o velocidad que los coagulantes metálicos. El tiempo y los rpm que se utilizó son las siguientes:

- 1-3 min, 30-100 rpm. Si la planta posee una razón de mezcla rápida. Si la planta no posee mezcla rápida definida se recomienda de 15-60 segundos entre 40-60 rpm.

2.3.3.2. Mezcla lenta

El tiempo máximo permitido es de 15 minutos ya que si es superado podría generar una elevación de temperatura en la muestra haciendo que la floculación sea más eficiente y teniendo una sedimentación escasa, ya que provocaría la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los flóculos y los hacen flotar. Es práctica de 3-15 min, 20-40 rpm.

2.3.3.3. Reposo

(Sedimentación) Se recomiendan 30min.

2.3.4. Procedimientos para llevar una prueba de jarras

Las soluciones químicas fueron preparadas en el momento de la prueba, tomando en cuenta que algunas muestras el tiempo les beneficia no siendo así con la mayoría de las muestras que sufren deterioros considerables. Los resultados obtenidos con muestras añejas no son representativos, el

volumen de químico que se añadió en la jarra para obtener la dosis deseada (ppm), fue calculada mediante a la siguiente ecuación:

Ecuación (1 – 2)

Caudal para obtener dosis ppm

$$Q * D = q * c(\%)$$

Dónde:

- Q = Caudal
- D = Dosis producto que se va a aplicar
- q = Cantidad que se debe colocar
- c (%) = Concentración a la que se prepara el producto

Producto Preparado.

25Kg de Sulfato de aluminio en → 1m³ de agua cruda

$$\frac{25000g}{1000L}$$

$$c\% = \frac{25000mg}{1L}$$

Ecuación (2 – 2)

Q= CAUDAD = VOLUMEN CONOCIDO

$$Q = 2000\text{cm}^3$$

$$D = ? \text{ ----> } X = 1,7\text{mg/L}$$

$$3,4\text{mg/L}$$

$$5,2\text{mg/L}$$

$$6,9\text{mg/L}$$

$$8,6\text{mg/L}$$

$$10,3\text{mg/L}$$

medida estándar para prueba de jarras

$$q = \text{cm}^3 (X)$$

$$q(X) = \frac{Q * D}{c}$$

Tabla 1 – 2: Dosis de Coagulante Sulfato de Aluminio tipo A y Polímero.

| NUMERO DE JARRA | Q (mg/L) | q (cm ³) | POLIMERO cm3 (CTE) |
|-----------------|----------|----------------------|--------------------|
| 1 | 1,7 | 0,14 | 5,3 |
| 2 | 3,4 | 0,27 | 5,3 |
| 3 | 5,2 | 0,42 | 5,3 |
| 4 | 6,9 | 0,55 | 5,3 |
| 5 | 8,6 | 0,68 | 5,3 |
| 6 | 10,3 | 0,83 | 5,3 |

Fuente: Yajaira Chele, 2019.

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Para la realización de la prueba las muestras deberán ser representativas con respecto al sistema de la planta y en cantidad lo suficiente para realizar la prueba completa. Por la inestabilidad de la suspensión coloidal es recomendable que la prueba se realice antes de dos horas de captada la muestra.

Lo químicos se adicionaron siguiendo el mismo orden en el que se añaden a nivel de la planta de tratamiento. A las jarras se añadió normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH. No se retrasó la adicción de los químicos ya que resultaría una alteración en las condiciones de la prueba de jarras.

2.3.5. Criterios para la evaluación

Los resultados deben ser analizados y evaluados según el criterio técnico del analista, fabricante del equipo o del operador de la planta, ya que cuenta con una amplia experiencia con la seguridad de que se va a trabajar con las mismas condiciones experimentales. No obstante, se debe tomar en cuenta que para evaluar una prueba de jarra se deben seguir una serie de lineamientos, entre ellos tenemos:

- Características de los flóculos: Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o microflóculos
- Calidad del sobrenadante: La trasparencia con la que se presenta el agua al finalizar la prueba es el criterio más importante porque de eso va a depender la eliminación de partículas suspendidas y por añadidura la disminución de la turbiedad el mismo que se medirá con un turbidímetro. También se debe considerar las condiciones del sobrenadante observando si este es transparente, turbio o semiturbio.

- Velocidad de sedimentación de los flóculos: Se puede tomar el tiempo que toman los flóculos para sedimentar, una vez que se detiene la agitación en el equipo. Se deben observar parámetros como: sedimentación violenta, rápida, lenta, casi nula, difusa, baja sedimentación.

Todo lo anterior se recoge en una observación visual cualitativa del proceso de clarificación, que recibe el nombre de nota de floculación o índice de Willcomb, de la siguiente forma:

Determinación del índice de Willcomb (Acosta, 2006).

| Indice | Descripción |
|---------------|--|
| 0 | Floc coloidal . Ningún signo de aglutinación |
| 2 | Visible . Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado. |
| 4 | Disperso . Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta). |
| 6 | Claro . Floc de tamaño relativamente claro. Precipita con lentitud. |
| 8 | Bueno . Floc que se deposita fácil pero no completamente. |
| 10 | Excelente . Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina. |

2.4. Materiales a utilizar

2.4.1. Pruebas de laboratorio

2.4.1.1. Descripción de equipos y materiales

a) Equipo de prueba de jarras

Para efectuar los ensayos de simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación se utilizará un equipo de velocidades variables marca HACH. Este equipo dispone de los siguientes elementos.

- Un agitador mecánico provisto de seis paletas, apto para operar a velocidades variables de 0 a 300 rpm.
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador del equipo.
- Seis Vasos de precipitado de 2 litro (2 000mL) de capacidad, forma cuadrada, de plástico refractario.
- Un microprocesador que permite programar gradientes en rpm y tiempo en minutos.

b) Turbidímetro

La medición de la turbiedad del agua se considera como el parámetro más importante en una prueba de jarras. El equipo a utilizar será un Turbidímetro nefelométrico marca HACH 2100Q.

c) Medidor de pH

La efectividad de los procesos de coagulación y floculación depende del pH, por lo tanto, la medición de este parámetro antes y después de dichos procesos es de gran importancia. En las pruebas de laboratorio se utilizará un pHímetro marca SPER SCIENTIFIC.

d) Comparador de color

Se presenta el interés en muchas ocasiones de la remoción del color en lugar de la turbiedad, en dichos casos la medición del color residual del agua puede servir para determinar el ensayo. Para las mediciones de color se utilizará un colorímetro marca HACH DR/890.

e) Materiales

- Solución de Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A.
- Jeringas hipodérmicas desechables de 10mL.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el tratamiento de agua potable todos los procesos son fundamentales pero la responsabilidad recae en los procesos de floculación y coagulación ya que de ellos depende que los procesos siguientes sean óptimos. Si no se diera un buen proceso de coagulación y floculación o estos son inadecuados serían los causantes de complicaciones en los procesos posteriores lo que conllevaría a problemas en el tratamiento en general, ocasionando una posible interrupción en las actividades de la planta.

Es necesario tener una dosificación correcta para que pueda llevarse a cabo una adecuada coagulación y una eficiente floculación, ya que si la dosis fuese mayor a lo que requiere hubiese una sobredosis haciendo que este proceso no fuera beneficioso generando un incremento de costos en la operación de la planta y por ende de la EPMAPA – S.

Conociendo la necesidad que tiene la planta de tratamiento de mejorar dichos procesos planteamos como objetivo general de nuestro trabajo de titulación determinación la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio en la planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa en función de la turbiedad, color y pH.

3.1. Localización de estudios

El presente trabajo de titulación se llevó a cabo en el Laboratorio de la Planta de Tratamiento de agua de la EPMAPA-S, la cual se encuentra ubicada en el kilómetro 1 ½ de la vía Tambache en el Cantón Sucúa, Provincia de Morona Santiago. Ubicado con las siguientes coordenadas 17M, 813266.338E 9730297.144N, 939msnm.



Gráfica 1 – 3: Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la EPMAPA-S sector vía a Tambache.

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

3.2. Lugar de Muestreo

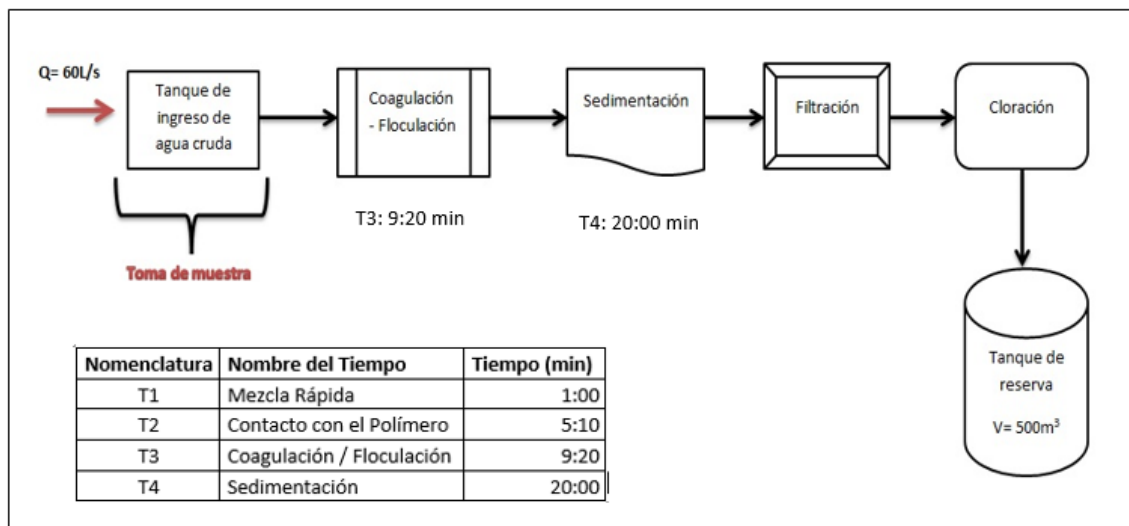


Figura 1-3: Diagrama de proceso de tratamiento de agua potable de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del cantón Sucúa

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

El diagrama del proceso de tratamiento de agua potable de la planta hidráulica que posee la EPMAPA – S se expone en la Figura 1 – 3, la misma que fue diseñada para procesar un caudal aproximado de 60L/s de agua cruda, consta una unidad de coagulación y floculación que está dividida en dos secciones reduciendo la velocidad del agua, en dicha unidad se adiciona el coagulante Sulfato de Aluminio tipo A y Polímero Catiónico como acelerador del proceso de coagulación – floculación, seguida a esta unidad podemos localizar cuatro sedimentadores de flujo ascendente con un almacenaje de alrededor de 36m³ de agua, a continuación dispone de cuatro filtros que trabajan en forma individual liberando agua hasta la unidad de cloración y por último el agua es enviada al tanque de reserva con una capacidad de 500m³.

Los tiempos que se emplearon en las pruebas de jarra se establecieron mediante trazadores hidráulicos por lo tanto son los mismos tiempos que se emplean en la planta. El lugar para la toma de muestra es el tanque de ingreso de agua cruda la misma que se encuentra señalada en el diagrama como Toma de muestra.

3.2.1. Muestreo de Agua Cruda

El muestreo para el análisis del agua cruda que llega a la planta de potabilización se realizó en el tanque de ingreso de agua cruda que se encuentra al inicio del proceso de potabilización mismo que es de fácil accesibilidad para la obtención de las muestras.

3.3. Ensayo de jarras con diferentes dosis de Sulfato de Aluminio Tipo A

A continuación, se muestran los datos de los análisis de agua cruda evaluada y los resultados correspondientes después de haber sido tratados con el coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A mediante el ensayo de jarras las cuales están establecidos conforme a los meses en los que se realizaron dichas pruebas.

Las muestras fueron tomadas entre las 8 y 9 de la mañana debido a la disponibilidad de tiempo del técnico encargado de la planta de tratamiento de agua potable.

Se escogieron los tres últimos meses del año debido a la variabilidad del clima en nuestro cantón estando estos entre finales de invierno y principios de verano.

3.3.1. Ensayos en el mes de octubre

En el mes de octubre se analizaron once muestras que presentaron diferentes condiciones físico – químicas tales como Turbiedad, pH y Color.

Se presentan más muestras que en los meses siguientes porque no fueron distribuidas equitativamente las 27 muestras que se plantearon al iniciar el proyecto, sino que se tomaron acorde a la disponibilidad de tiempo del técnico y del laboratorio.

Tabla 1 – 3. Análisis Físico – Químico iniciales del mes de octubre.

| NUM. PRUEBA | FECHA | TURBIEDAD INICIAL (NTU) | COLOR INICIAL (UPC) | pH INICIAL |
|--------------------|--------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 08/10/2018 | 8,10 | 15,00 | 7,96 |
| 2 | 09/10/2018 | 13,20 | 71,00 | 7,99 |
| 3 | 10/10/2018 | 3,67 | 0,00 | 7,89 |
| 4 | 11/10/2018 | 386,00 | 550,00 | 7,87 |
| 5 | 15/10/2018 | 7,96 | 45,00 | 8,03 |
| 6 | 16/10/2018 | 6,10 | 42,00 | 7,98 |
| 7 | 17/10/2018 | 5,33 | 22,00 | 8,18 |
| 8 | 19/10/2018 | 186,00 | 550,00 | 7,79 |
| 9 | 22/10/2018 | 16,60 | 85,00 | 7,85 |
| 10 | 26/10/2018 | 89,70 | 423,00 | 7,85 |
| 11 | 29/10/2018 | 27,30 | 153,00 | 7,84 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Antes de realizar la prueba de jarras se procedió a la toma de los datos iniciales de agua cruda mismo que constan en la Tabla 1 – 3, los cuales corresponden al mes octubre con sus respectivas fechas.

Por los altos rangos de turbiedad y de color se evidenciaron lluvias fuertes en tres fechas de la prueba, en las ocho fechas restantes hubo días nublados con poca lluvia en zonas cercanas a la planta y días soleados ya que hubo datos de turbiedad que están dentro o cerca de lo establecido por la norma NTE INE 1108 antes de realizarse la prueba.

Se dieron turbiedades mínimas de 3,67 NTU y 386 NTU como turbiedad máxima al igual obtuvimos para el parámetro de color un mínimo de 0 UPC y un máximo de 550 UPC. El pH durante las once pruebas del mes de octubre oscila entre 7,84 y 8,03 que están dentro de los márgenes adecuados para agua con posterior tratamiento de potabilización.

Tabla 2 – 3: Resultado de la turbiedad final y dosis óptima del mes de octubre.

| NUM. DE PRUEBA | TURB. INICIAL (NTU) | DOSIFICACIÓN mg/L | | | | | | TURB. RESIDUAL (NTU) | | | | | | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|----------------|---------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|----------------------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | |
| 1 | 8,1 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 7,67 | 2,66 | 1,01 | 0,81 | 0,75 | 0,73 | 3,4 |
| 2 | 13,2 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 12,8 | 2,29 | 0,85 | 0,81 | 1,01 | 0,62 | 3,4 |
| 3 | 3,67 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 3,29 | 0,82 | 0,64 | 0,61 | 0,54 | 0,79 | 1,7 |
| 4 | 386 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 209 | 48,6 | 3,98 | 3,31 | 3,27 | 3,12 | 5,2 |
| 5 | 7,96 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 6,69 | 2,27 | 1,14 | 1,08 | 0,93 | 0,66 | 3,4 |
| 6 | 6,1 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 4,71 | 1,32 | 0,99 | 0,56 | 0,44 | 0,42 | 1,7 |
| 7 | 5,33 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 3,91 | 1,62 | 0,42 | 0,79 | 0,68 | 0,52 | 1,7 |
| 8 | 186 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 18,1 | 5,79 | 1,83 | 1,51 | 1,27 | 0,98 | 5,2 |
| 9 | 16,6 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 9,97 | 4,52 | 1,19 | 0,8 | 0,69 | 0,81 | 3,4 |
| 10 | 89,7 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 15,4 | 10,7 | 3,73 | 2,77 | 1,98 | 1,78 | 5,2 |
| 11 | 27,3 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 5,38 | 3,49 | 1,01 | 0,58 | 0,57 | 0,4 | 3,4 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

J1= Jarra N°1, J2= Jarra N°2, J3= Jarra N°3, J4= Jarra N°4, J5= Jarra N°5, J6= Jarra N°6

Después de realizadas las pruebas de jarras para este mes se encontró la dosis adecuada de coagulante para cada turbiedad con respecto al porcentaje de remoción de turbiedad lo cual podemos encontrar en la tabla 2 – 3, a más podemos observar datos de turbiedad inicial y turbiedad residual, conjuntamente con la cantidad de Sulfato de Aluminio tipo A aplicada a cada jarra.

Para la determinación de la dosis óptima se tomó en cuenta que el valor de la turbiedad sea igual o menor al límite máximo permisible que está establecido por NTE INEN 1108 quinta edición debido a que el proceso de purificación del agua no termina con la coagulación y floculación, sino que tenemos los procesos siguientes como la filtración y cloración los cuales ayudan a que la turbiedad disminuya aún más.

En el primer mes tenemos valores de turbiedad bajas como 3,67 NTU correspondientes a la prueba número 3 la misma que se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa en dicha muestra optaríamos por no agregar el coagulante, pero debido a que en la zona se tiene un clima muy variable se decidió que se la iba a tratar con una dosis mínima de 1,7mg/L.

En las pruebas número 6 y 7 poseen turbiedades muy cercanas al límite permisible mismas que al ser tratadas con las dosis mínimas se ajustaron al rango que se decidió tomar en cuenta.

Las pruebas número 1, 2, 5, 9 y 11 se encuentran alejadas del límite permisible por lo que fueron tratadas con 20mg/L de coagulante para lograr que una disminución adecuada de la turbiedad.

En los días que se realizaron las pruebas número 4, 8 y 10 se presenciaron precipitaciones considerables mismas que afectaron la calidad del agua ya que tenemos turbiedades elevadas de hasta 386 NTU y que fueron tratadas con una dosis de coagulante de 5,2mg/L obteniendo así turbiedades por debajo de los establecido por la normativa garantizando un agua de calidad para los siguientes procesos.

Tabla 3 – 3: Resultado del color final y dosis óptima del mes de octubre.

| NUM. DE PRUEBA | COLOR INICIAL (UPC) | DOSIFICACIÓN mg/L | | | | | | COLOR RESIDUAL (UPC) | | | | | | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|----------------|---------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|----------------------|-----|----|----|----|----|---------------------|
| | | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | |
| 1 | 15 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 2 | 71 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 3 | 0 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 4 | 550 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 550 | 389 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,2 |
| 5 | 45 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 6 | 42 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 7 | 22 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 8 | 550 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 133 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,2 |
| 9 | 85 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 15 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 10 | 423 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 115 | 55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,2 |
| 11 | 153 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,4 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Los análisis donde se determina la dosis adecuado de Sulfato de Aluminio para cada color tomados de acuerdo al que mayor porcentaje de remoción obtuvo se indican en la Tabla 3 – 3, a más de esto dicha tabla presenta los datos iniciales tanto como residuales de color con su correspondiente cantidad de coagulante que fue aplicada a cada jarra.

Al igual que con la turbiedad se manejó los límites permisibles establecidos por la NTE INEN 1108 en cuanto al parámetro de color que esta norma establece. En esta tabla se puede analizar que en cuatro de las once pruebas no coincide la dosis de coagulante que se necesita para disminuir la turbiedad con la dosis que se necesita para disminuir el color. Las pruebas que no coinciden son las número 1, 2, 5 y 9 las cuales establecieron que se necesita menor cantidad de coagulante para remoción de color respecto de la necesaria para la remoción de turbiedad.

En la prueba número 3 el color se encuentra en el margen inferior del límite permisible de la normativa por ello se trabajará con la dosis mínima. En las fechas 11, 19 y 26 de octubre que se realizaron las pruebas 4, 8 y 10 hubieron lluvias considerables por lo cual el parámetro de color fue elevado y a las mismas fueron tratadas con dosis de 5,2mg/L de coagulante concordando con las dosis que se utilizó para la disminución de la turbiedad al igual ocurrió con las pruebas número 3, 6, 7 y 11 coincidieron con las dosis de coagulante que se establecieron para la disminución de la turbiedad.

A continuación, se muestran los datos residuales de turbiedad, color, pH, así como la dosis óptima de Sulfato de Aluminio tipo A con respecto a la turbiedad correspondiente a las pruebas realizadas en el mes de octubre. En el primer mes de pruebas observamos que el pH se encuentra dentro de los rangos recomendados para que se dé una coagulación favorable. (Tabla 4 – 3).

Tabla 4 – 3: Datos Residuales de la turbiedad, color y pH del mes de octubre.

| NUM. PRUEBA | TURB. RESIDUAL (NTU) | COLOR RESIDUAL (UPC) | pH RESIDUAL | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 2,66 | 0,00 | 7,50 | 3,4 |
| 2 | 2,29 | 14,00 | 7,62 | 3,4 |
| 3 | 3,29 | 0,00 | 7,44 | 1,7 |
| 4 | 3,98 | 0,00 | 7,12 | 5,2 |
| 5 | 2,27 | 8,00 | 7,56 | 3,4 |
| 6 | 4,71 | 8,00 | 7,53 | 1,7 |
| 7 | 3,91 | 0,00 | 7,87 | 1,7 |
| 8 | 1,83 | 0,00 | 7,29 | 5,2 |
| 9 | 8,52 | 15,00 | 7,68 | 3,4 |
| 10 | 3,73 | 0,00 | 7,64 | 5,2 |
| 11 | 3,49 | 0,00 | 7,47 | 3,4 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Los resultados obtenidos en el mes de octubre de las once muestras que se tomaron arrojaron que la cantidad de Sulfato de Aluminio tipo A cambia dependiendo de los niveles de turbiedad y coloración que presenta el agua ya que estas según un análisis estadístico están estrechamente relacionadas. Por tanto, a mayor turbiedad se necesita altas dosis de coagulante habiendo excepciones en algunos casos en cuanto a coloración se refiere. En este mes las dosis

3.3.2. Ensayos en el mes de noviembre

En este mes en su gran mayoría fueron días despejados ya que fue un mes donde las precipitaciones no se manifestaron con excepción de un día donde se presenciaron lluvias intensas.

Tabla 5 – 3: Análisis Físico – Químico iniciales del mes de noviembre.

| NUM. PRUEBA | FECHA | TURBIEDAD INICIAL (NTU) | COLOR INICIAL (UPC) | pH INICIAL |
|-------------|------------|-------------------------|---------------------|------------|
| 12 | 14/11/2018 | 7,43 | 25,00 | 7,64 |
| 13 | 19/11/2018 | 13,20 | 73,00 | 7,75 |
| 14 | 20/11/2018 | 572,00 | 600,00 | 7,80 |
| 15 | 21/11/2018 | 12,00 | 10,00 | 7,73 |
| 16 | 25/11/2018 | 8,17 | 34,00 | 7,61 |
| 17 | 27/11/2018 | 8,84 | 10,00 | 7,70 |
| 18 | 28/11/2018 | 5,41 | 8,00 | 7,65 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Los datos iniciales de los tres parámetros que se establecieron tomar para la realización de la prueba de jarras se presentan en la Tabla 5 – 3 son siete muestras que corresponden al mes de noviembre con sus respectivas fechas las cuales fueron planteadas de acuerdo a la disponibilidad de tiempo del técnico encargado y del laboratorio.

Por los datos expuestos en la tabla en mención se evidencia que hubo un clima uniforme para todo el mes teniendo como único dato relevante la prueba número 14 la cual por su alto valor de turbiedad que es de 572 NTU y de color 600 UPC se evidenció que el día de dicha prueba se produjeron lluvias intensas en todo el cantón y sus alrededores. El resto de fechas no hubo mayor relevancia en los datos tomados por lo que hubo un clima donde los días fueron parcialmente despejados y soleados manifestando una turbiedad mínima de 5,41 NTU y una máxima de 572 NTU y en parámetro de color como máximo se manifestó 600 UPC y como mínimo 8 UPC. El pH estuvo dentro de lo requerido para una buena coagulación estando entre un rango de 7,61 y 7,80.

Tabla 6 – 3: Resultado de turbiedad final y dosis óptima del mes de noviembre.

| NUM. DE PRUEBA | TURB. INICIAL (NTU) | DOSIFICACIÓN mg/L | | | | | | TURB. RESIDUAL (NTU) | | | | | | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|----------------|---------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|----------------------|-------|------|------|------|------|---------------------|
| | | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | |
| 12 | 7,43 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 2,33 | 1,56 | 0,99 | 0,83 | 0,65 | 0,63 | 1,7 |
| 13 | 13,20 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 12,10 | 2,25 | 1,15 | 0,79 | 0,92 | 1,07 | 3,4 |
| 14 | 572,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 33,80 | 12,70 | 8,22 | 7,44 | 4,65 | 3,75 | 10,3 |
| 15 | 12,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 8,47 | 1,63 | 0,85 | 0,83 | 0,51 | 0,43 | 3,4 |
| 16 | 8,17 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 4,42 | 1,57 | 0,51 | 0,46 | 0,48 | 0,56 | 1,7 |
| 17 | 8,84 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 3,84 | 3,61 | 2,46 | 0,80 | 0,49 | 0,44 | 1,7 |
| 18 | 5,41 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 3,51 | 3,16 | 3,05 | 2,60 | 2,51 | 5,42 | 1,7 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Para un análisis más profundo tenemos los datos de la tabla 6 – 3 donde se presentan los datos de turbiedad inicial y turbiedad residual, a su vez la cantidad de coagulante aplicado a cada una de las jarras y la dosis óptima con respecto a la remoción de turbiedad al terminó de la prueba de jarras.

Para la determinación de la dosis óptima se tomó en cuenta que el valor de la turbiedad sea igual o menor al límite máximo permisible que está establecido en la normativa reguladora para agua potable conociendo que a más de la coagulación y floculación existen más fases para la purificación del agua los cuales ayudan a que la turbiedad disminuya aún más.

En el segundo mes de la prueba tenemos valores de turbiedad cercanas al límite permisible de la normativa siendo 5,41 NTU en la prueba número 18 estableciendo a esta como la turbiedad mínima entre las siete fechas, Ocurrió un acontecimiento donde se evidenció un día de intensa lluvia donde se obtuvo una turbiedad con un valor de 576 NTU siendo esta la turbiedad máxima y correspondiente a la prueba número 14 misma que tratamos con una dosis elevada de 10,3mg/L

En las pruebas que se encuentran cercanas al límite permitido por la Norma tenemos las pruebas número 12, 16, 17 y 18 con valores de turbiedad 7,43; 8,17; 8,84 y 5,41 NTU respectivamente a las que se les administró una dosis de coagulante de 10mg/L. siendo esta una dosis mínima.

Por otra parte, tenemos las pruebas números 13 y 15 con turbiedades de 13,20 y 12,00 NTU en orden, mismas que fueron tratadas con una dosis de coagulante 20mg/L ya que están un poco distantes de la turbiedad sugerida por la normativa.

Tabla 7 – 3: Resultado de color final y dosis óptima del mes de noviembre.

| NUM. DE PRUEBA | COLOR INICIAL (UPC) | DOSIFICACIÓN mg/L | | | | | | COLOR RESIDUAL (UPC) | | | | | | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|----------------|---------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|----------------------|----|----|----|----|----|---------------------|
| | | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | |
| 12 | 25 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 13 | 73 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,4 |
| 14 | 600 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 520 | 40 | 28 | 0 | 0 | 0 | 6,9 |
| 15 | 10 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 16 | 34 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 17 | 10 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |
| 18 | 8 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Con respecto al parámetro de color en la tabla 7 – 3 se observan datos de color inicial y color excedente, a su vez se muestran la cantidad de Sulfato de Aluminio tipo A aplicada a cada jarra y la dosis óptima con respecto a la remoción de color al terminar la prueba.

Esta tabla demuestra que en dos de las siete pruebas las dosis de coagulante necesaria para disminuir el color son inferior a las dosis requeridas para la disminución de la turbiedad siendo estas las pruebas número 14 y 15 con un color de 600 y 10 UPC respectivamente, consiguiendo llegar a un rango de color requerido con una dosis de 6,9mg/L y 1,7mg/L en orden. En el resto de pruebas 12, 13, 16, 17, 18 las dosis coincidieron con las dosis de coagulante que se establecieron para la disminución de la turbiedad.

Tabla 8 – 3: Datos finales de la turbiedad, color y pH del mes de noviembre

| NUM. PRUEBA | TURB. RESIDUAL (NTU) | COLOR RESIDUAL (UPC) | pH RESIDUAL | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|-------------|----------------------|----------------------|-------------|---------------------|
| 12 | 2,33 | 0,00 | 7,59 | 1,7 |
| 13 | 2,25 | 0,00 | 7,54 | 3,4 |
| 14 | 3,75 | 0,00 | 7,25 | 10,3 |
| 15 | 1,63 | 7,00 | 7,27 | 3,4 |
| 16 | 4,42 | 8,00 | 7,05 | 1,7 |
| 17 | 3,84 | 0,00 | 7,55 | 1,7 |
| 18 | 3,51 | 0,00 | 7,58 | 1,7 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Al finalizar el mes de noviembre presentamos en la tabla 8 – 3 los datos finales de turbiedad, color, pH, así como la dosis óptima de Sulfato de Aluminio correspondientes de las pruebas

realizadas en el mes de noviembre. En este segundo mes podemos observar que el pH se encuentra dentro del nivel recomendado para que pueda realizarse una coagulación óptima.

Los resultados obtenidos en el mes de noviembre de las siete muestras que se tomaron arrojaron que la cantidad de Sulfato de Aluminio tipo A cambia dependiendo de los niveles de turbiedad y coloración que presenta el agua ya que están estrechamente relacionadas. Por tanto, a mayor turbiedad se necesita mayores dosis de coagulante habiendo excepciones en algunos casos en cuanto a coloración. En este mes las dosis mínimas de coagulante que se utilizaron fueron de 1,7mg/L y las máximas fueron de 10,3mg/L.

3.3.3. Ensayos en el mes de diciembre

Se analizaron nueve muestras en el mes de diciembre, mismas que presentaron diferentes condiciones de Turbiedad, pH y Color.

Tabla 9 – 3. Análisis Físico – Químico inicial del mes de diciembre.

| NUM. DE PRUEBA | FECHA | TURB. INICIAL (NTU) | COLOR INICIAL (UPC) | pH INICIAL |
|----------------|------------|---------------------|---------------------|------------|
| 19 | 10/12/2018 | 2,23 | 0,00 | 7,65 |
| 20 | 11/12/2018 | 2,70 | 0,00 | 7,81 |
| 21 | 12/12/2018 | 6,27 | 31,00 | 7,59 |
| 22 | 14/12/2018 | 3,31 | 1,00 | 7,77 |
| 23 | 17/12/2018 | 4,22 | 0,00 | 7,69 |
| 24 | 18/12/2018 | 2,72 | 3,00 | 7,69 |
| 25 | 19/12/2018 | 11,20 | 59,00 | 7,58 |
| 26 | 20/12/2018 | 3,03 | 0,00 | 7,64 |
| 27 | 21/12/2018 | 4,56 | 0,00 | 7,89 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Para el mes de diciembre y último mes del proyecto presentamos los datos iniciales de turbiedad, color y pH en la Tabla 9 – 3, son datos provenientes de agua cruda antes de la adición del coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A, muestras que se encuentran con sus respectivas fechas.

Observando los datos expuestos en esta tabla establecemos que hubo un clima soleado ya que los valores de la turbiedad en su mayoría están por debajo o cercanos al límite permisible y no se presenciaron lluvias.

En la prueba número 25 tenemos los valores de 11,20 NTU como turbiedad máxima y 59 UPC como color máximo durante la prueba del mes de diciembre.

La prueba número 19 tenemos una turbiedad de 2,23 NTU establecida como turbiedad mínima y 0,00 UPC como color mínimo en toda la prueba del mes en mención.

El restante de pruebas se halla con una turbiedad y un color por debajo o muy cercana de los límites permisibles que exige NTE INEN 1108 debiéndose tomar en cuenta que esta es agua cruda sin ningún tratamiento.

El pH estuvo dentro de lo requerido para una buena coagulación estando entre un rango de 7,58 y 7,89.

Tabla 10 – 3. Resultado de la turbiedad final y dosis óptima del mes de diciembre.

| NUM. DE PRUEBA | TURB. INICIAL (NTU) | DOSIFICACIÓN mg/L | | | | | | TURB. RESIDUAL (NTU) | | | | | | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|----------------|---------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|----------------------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | |
| 19 | 2,23 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 1,35 | 1,31 | 0,83 | 0,65 | 0,60 | 0,41 | 1,7 |
| 20 | 2,70 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,69 | 0,65 | 0,44 | 0,41 | 0,40 | 0,31 | 1,7 |
| 21 | 6,27 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 2,67 | 2,07 | 2,02 | 0,90 | 0,59 | 0,32 | 1,7 |
| 22 | 3,31 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 1,91 | 0,70 | 0,64 | 0,39 | 0,30 | 0,28 | 1,7 |
| 23 | 4,22 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 1,08 | 0,73 | 0,46 | 0,39 | 0,34 | 0,30 | 1,7 |
| 24 | 2,72 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 1,65 | 0,91 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,32 | 1,7 |
| 25 | 11,20 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 6,56 | 1,12 | 0,70 | 0,54 | 0,51 | 0,35 | 3,4 |
| 26 | 3,03 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,42 | 0,31 | 0,30 | 0,26 | 0,31 | 0,59 | 1,7 |
| 27 | 4,56 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 1,73 | 0,81 | 1,65 | 0,72 | 0,55 | 0,62 | 1,7 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Para la obtención de la dosis óptima de coagulante se compararon la turbiedad inicial y turbiedad final respecto al porcentaje de remoción aplicando a cada jarra diferentes dosis de Sulfato de Aluminio tipo A, datos que se muestran en la tabla 10 – 3.

Al encontrarse las turbiedades por debajo o cercanas la limite permisible en su mayoría fueron tratadas con una dosis mínima de coagulante correspondiente a 1,7mg/L exceptuando una prueba que al ser considerada la turbiedad más alta del mes fue tratada con una dosis de 3,4mg/L de Sulfato de Aluminio esta corresponde a la prueba número 25.

Tabla 11 – 3: Resultado del color final y dosis óptima del mes de diciembre.

| NUM. DE PRUEBA | COLOR INICIAL (UPC) | DOSIFICACIÓN mg/L | | | | | | COLOR RESIDUAL (UPC) | | | | | | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|----------------|---------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|----------------------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | |
| 19 | 0,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |
| 20 | 0,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |
| 21 | 31,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |
| 22 | 1,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |
| 23 | 0,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |
| 24 | 3,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |
| 25 | 59,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 48,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,4 |
| 26 | 0,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |
| 27 | 0,00 | 1,7 | 3,4 | 5,2 | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,7 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

El parámetro de color y la dosificación adecuada se puede observar en la Tabla 11 – 3 ya que aquí encontramos datos iniciales y residuales de color con su correspondiente cantidad de coagulante aplicado a cada jarra y la dosis que mejor resultado mostró después de la prueba de jarras.

Al ser los niveles de turbiedad y color no muy elevadas las dosis óptimas de Sulfato de Aluminio tipo A para los dos parámetros coinciden.

Tabla 12 – 3: Datos finales de la turbiedad, color y pH del mes de diciembre.

| NUM. PRUEBA | TURB. RESIDUAL (NTU) | COLOR RESIDUAL (UPC) | pH RESIDUAL | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|-------------|----------------------|----------------------|-------------|---------------------|
| 19 | 1,35 | 0,00 | 7,60 | 1,7 |
| 20 | 0,69 | 0,00 | 7,56 | 1,7 |
| 21 | 2,67 | 0,00 | 7,58 | 1,7 |
| 22 | 1,91 | 0,00 | 7,46 | 1,7 |
| 23 | 1,08 | 0,00 | 7,57 | 1,7 |
| 24 | 1,65 | 0,00 | 7,63 | 1,7 |
| 25 | 1,12 | 0,00 | 7,51 | 3,4 |
| 26 | 0,42 | 0,00 | 7,46 | 1,7 |
| 27 | 1,73 | 0,00 | 7,53 | 1,7 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Los datos finales de turbiedad, color y pH se muestran en la tabla 12 – 3, también podemos observar cual es la dosis óptima de Sulfato de Aluminio correspondientes de las pruebas realizadas en el mes de diciembre. El pH se encuentra dentro de los rangos recomendados para que se dé una coagulación y floculación óptima.

En el mes de diciembre las ocho pruebas no mostraron ninguna novedad ya que se alcanzaron las turbiedades requeridas con dosis de coagulante mínima, con excepción de la prueba número 25 la cual necesito una dosis mayor para lograr alcanzar límite permisible.

Se demostró que a mayor turbiedad mayor dosis de coagulante se necesita para alcanzar los valores establecidos.

En este mes las dosis mínimas de coagulante que se utilizaron fueron de 1,7mg/L y la máxima fue de 3,4mg/L.

3.4. Turbiedad Inicial y Dosis Óptima

Posteriormente se mostrará los datos de las turbiedades iniciales y las dosis óptimas de Coagulante Sulfato de Aluminio tipo A después de realizada la prueba de jarras demostrando la que sea más eficiente y eficaz en cuanto a costo y remoción de turbiedad, clasificándolas mediante rangos.

3.4.1. Turbiedad inicial rango 0 – 50 NTU

El comportamiento de la turbiedad frente a la dosis óptima se evidencia en la tabla 13 – 3 manifestándose aquí los datos iniciales frente a la dosis óptima de coagulante que se necesita, clasificándolas por en un rango de 0 – 50 NTU dando un total de 23 muestras que se encuentran dentro de esta categoría.

Tabla 13 – 3: Turbiedad Inicial (0 – 50 NTU) Vs Dosis Óptima

| NUM. PRUEBA | TURBIEDAD INICIAL (NTU) | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|-------------|-------------------------|---------------------|
| 3 | 3,67 | 1,7 |
| 7 | 5,33 | 1,7 |
| 12 | 7,43 | 1,7 |
| 16 | 8,17 | 1,7 |
| 17 | 8,84 | 1,7 |

| | | |
|----|-------|-----|
| 18 | 5,41 | 1,7 |
| 19 | 2,23 | 1,7 |
| 20 | 2,70 | 1,7 |
| 21 | 6,27 | 1,7 |
| 22 | 3,31 | 1,7 |
| 23 | 4,22 | 1,7 |
| 24 | 2,72 | 1,7 |
| 26 | 3,03 | 1,7 |
| 27 | 4,56 | 1,7 |
| 1 | 8,10 | 3,4 |
| 2 | 13,20 | 3,4 |
| 5 | 7,96 | 3,4 |
| 6 | 6,10 | 3,4 |
| 9 | 16,60 | 3,4 |
| 11 | 27,30 | 3,4 |
| 13 | 13,20 | 3,4 |
| 15 | 12,00 | 3,4 |
| 25 | 11,20 | 3,4 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

La conducta de la turbiedad inicial se expresó en el grafico 2 – 3, misma que está diseñada con los datos de la tabla anterior.

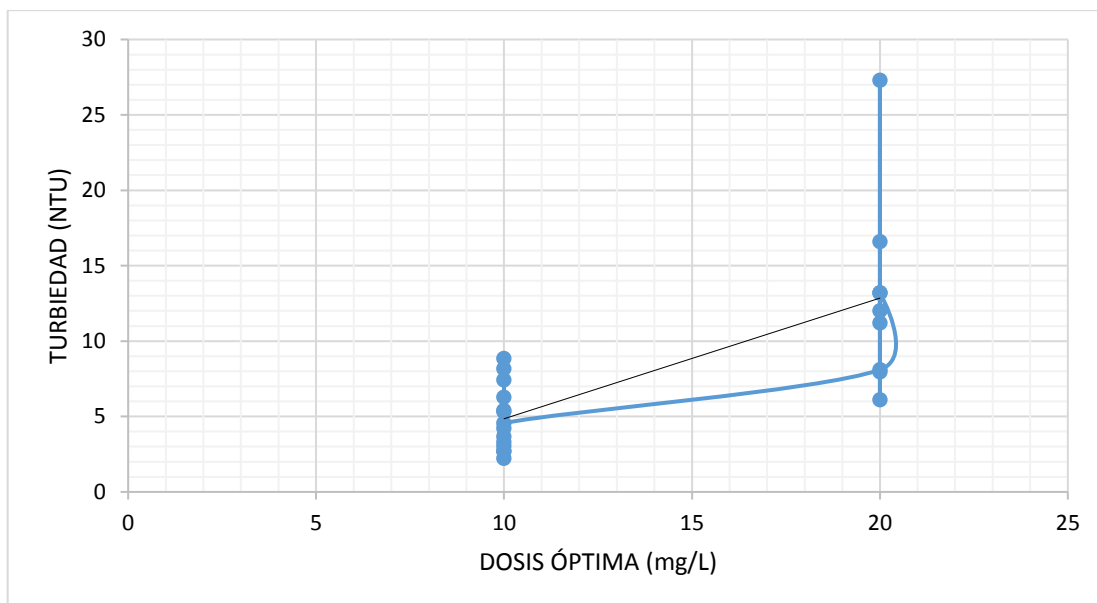


Gráfico 2 – 3: Conducta de la Turbiedad Inicial entre un rango de 0 – 50 NTU frente a la Dosis Óptima

Elaborado por: Yajaira Chele, 2019

3.4.2. Turbiedad inicial rango 51 – 100 NTU

Para la categoría del rango de turbiedad entre 51 – 100 NTU se obtuvo la tabla 14 – 3 misma que está compuesta por un único dato, indicándose aquí la muestra inicial con respecto a la dosis óptima de coagulante necesario para dicha turbiedad.

Tabla 14 – 3: Turbiedad Inicial (51 – 100 NTU) Vs Dosis Óptima

| NUM. PRUEBA | TURBIEDAD INICIAL (NTU) | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|-------------|-------------------------|---------------------|
| 10 | 89,70 | 5,2 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

En este caso no se presentará gráfica debido a que no hay comportamiento y es un solo punto en el plano.

3.4.3. Turbiedad inicial rango 101 – 1000 NTU

En la tercera categoría de rango de turbiedad entre 101 – 1000 se plantea la tabla 15 – 3, muestran los datos iniciales de turbiedad frente a la dosis óptima de coagulante que necesitan, dando un total de 3 muestras dentro de esta categoría.

Tabla 15 – 3: Turbiedad Inicial (101 – 1000 NTU)
Vs Dosis Óptima

| NUM. PRUEBA | TURBIEDAD INICIAL (NTU) | DOSIS ÓPTIMA (mg/L) |
|-------------|-------------------------|---------------------|
| 8 | 186,00 | 5,2 |
| 4 | 386,00 | 4,2 |
| 14 | 572,00 | 10,3 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

La manera con la que tiende a comportarse la turbiedad frente a la dosis óptima se muestra en el grafico 3 – 3 el cual fue trazado de acuerdo a los datos de la tabla anterior

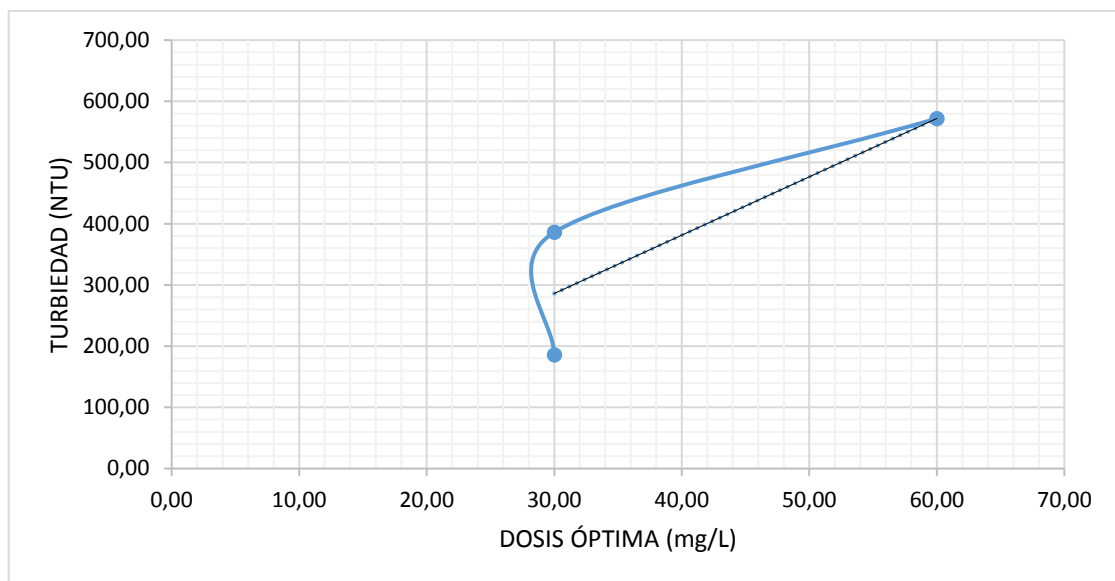


Gráfico 3 – 3: Comportamiento de la Turbiedad Inicial frente a la Dosis Óptima

Elaborado por: Yajaira Chele, 2019

En general podemos observar que el agua cruda captada tiende a comportarse siempre de una manera diferente debido a las sustancias que arrastra durante su camino y dependiendo del clima alterando así considerablemente los parámetros físico-químicos, provocando que no siempre se pueda aplicar la misma cantidad de sulfato de aluminio para el tratamiento.

La dosis óptima debería ser proporcional a la turbiedad es decir si el parámetro incrementa la dosis también lo debería hacer, pero se debe tomar en cuenta que el agua no se comporta de la misma manera siempre debiendo este comportamiento no solo a los factores como la turbiedad, color y pH, sino que hay factores como la dureza y la alcalinidad que también influyen.

3.5. Relación entre las condiciones iniciales y finales con sus respectivas dosis óptimas encontradas para cada caso.

El número total de pruebas con sus respectivos parámetros iniciales y finales y la dosis óptima para cada caso no permitirá hacer una comparación más detallada entre la turbiedad vs la dosis óptima al igual que el color vs la dosis óptima.

La condiciones iniciales y finales de los parámetros como la turbiedad, color y pH están manifestados en la tabla 16 – 3 conjuntamente con la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A necesaria para cada caso.

Tabla 16 – 3: Condiciones Iniciales y finales y sus pertenecientes dosis óptimas

| NUM. PRUEBA | TURB INICIAL (NTU) | TURB. FINAL (NTU) | COLOR INICIAL (UPC) | COLOR FINAL (UPC) | pH INICIAL | pH FINAL | DOSIS ÓPTIMA mg/L |
|-------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------|----------|-------------------|
| 1 | 8,10 | 2,66 | 15,00 | 0,00 | 7,96 | 7,50 | 3,4 |
| 2 | 13,20 | 2,29 | 71,00 | 14,00 | 7,99 | 7,62 | 3,4 |
| 3 | 3,67 | 3,29 | 0,00 | 0,00 | 7,89 | 7,44 | 1,7 |
| 4 | 386,00 | 3,98 | 550,00 | 0,00 | 7,87 | 7,12 | 5,2 |
| 5 | 7,96 | 2,27 | 45,00 | 8,00 | 8,03 | 7,56 | 3,4 |
| 6 | 6,10 | 1,32 | 42,00 | 8,00 | 7,98 | 7,53 | 3,4 |
| 7 | 5,33 | 3,91 | 22,00 | 0,00 | 8,18 | 7,87 | 1,7 |
| 8 | 186,00 | 1,83 | 550,00 | 0,00 | 7,79 | 7,29 | 5,2 |
| 9 | 16,60 | 3,52 | 85,00 | 15,00 | 7,85 | 7,68 | 3,4 |
| 10 | 89,70 | 3,73 | 423,00 | 0,00 | 7,85 | 7,64 | 5,2 |
| 11 | 27,30 | 3,49 | 153,00 | 0,00 | 7,84 | 7,47 | 3,4 |
| 12 | 7,43 | 2,33 | 25,00 | 0,00 | 7,64 | 7,59 | 1,7 |
| 13 | 13,20 | 2,25 | 73,00 | 0,00 | 7,75 | 7,54 | 3,4 |
| 14 | 572,00 | 1,44 | 600,00 | 0,00 | 7,80 | 7,35 | 10,3 |
| 15 | 12,00 | 1,63 | 10,00 | 7,00 | 7,73 | 7,27 | 3,4 |
| 16 | 8,17 | 4,42 | 34,00 | 8,00 | 7,61 | 7,05 | 1,7 |
| 17 | 8,84 | 3,84 | 10,00 | 0,00 | 7,70 | 7,55 | 1,7 |
| 18 | 5,41 | 3,51 | 8,00 | 0,00 | 7,65 | 7,58 | 1,7 |
| 19 | 2,23 | 1,35 | 0,00 | 0,00 | 7,65 | 7,60 | 1,7 |
| 20 | 2,70 | 0,69 | 0,00 | 0,00 | 7,81 | 7,56 | 1,7 |
| 21 | 6,27 | 2,67 | 31,00 | 0,00 | 7,59 | 7,58 | 1,7 |
| 22 | 3,31 | 1,91 | 1,00 | 0,00 | 7,77 | 7,46 | 1,7 |
| 23 | 4,22 | 1,08 | 0,00 | 0,00 | 7,69 | 7,57 | 1,7 |
| 24 | 2,72 | 1,65 | 3,00 | 0,00 | 7,69 | 7,63 | 1,7 |
| 25 | 11,20 | 1,12 | 59,00 | 0,00 | 7,58 | 7,51 | 3,4 |
| 26 | 3,03 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | 7,64 | 7,46 | 1,7 |
| 27 | 4,56 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 7,89 | 7,53 | 1,7 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

La relación que se da entre la turbiedad VS la dosis óptima se muestra en el gráfico 4 – 3 mismas que están en orden ascendente de acuerdo a los datos de la tabla anterior.

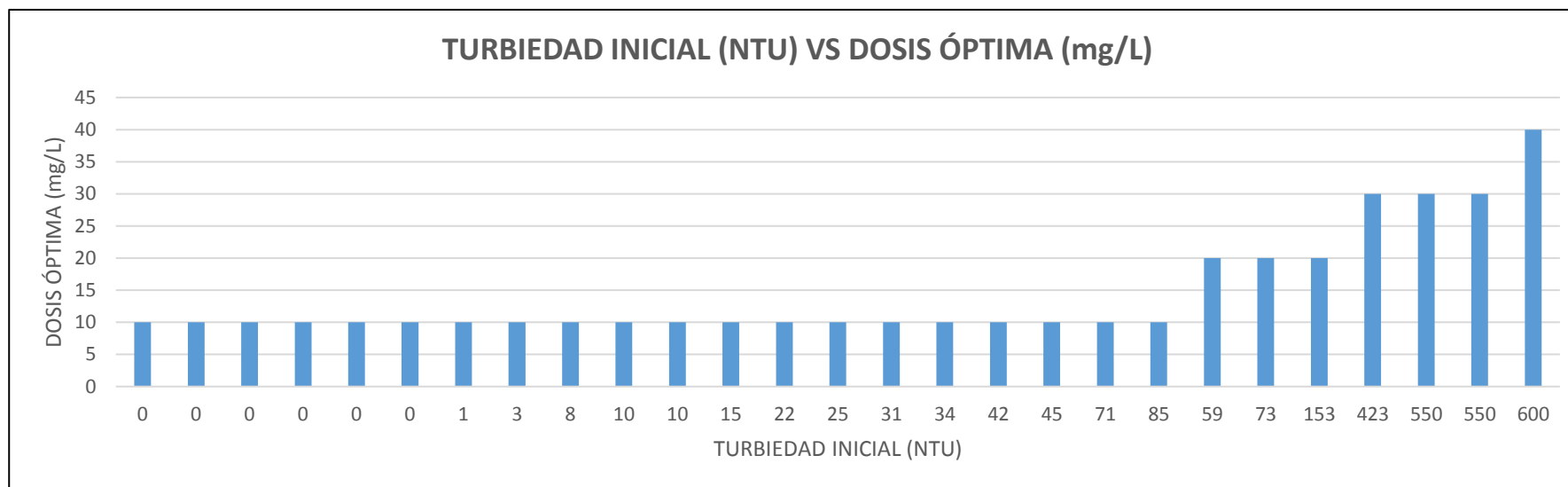


Gráfico 4 – 3: Relación entre la Turbiedad Inicial frente a la Dosis Óptima

Elaborado por: Yajaira Chele, 2019

La relación dada entre color VS la dosis óptima se presenta en el gráfico 5 – 3, ordenado en forma ascendente y utilizando los datos de la tabla de las condiciones iniciales y finales

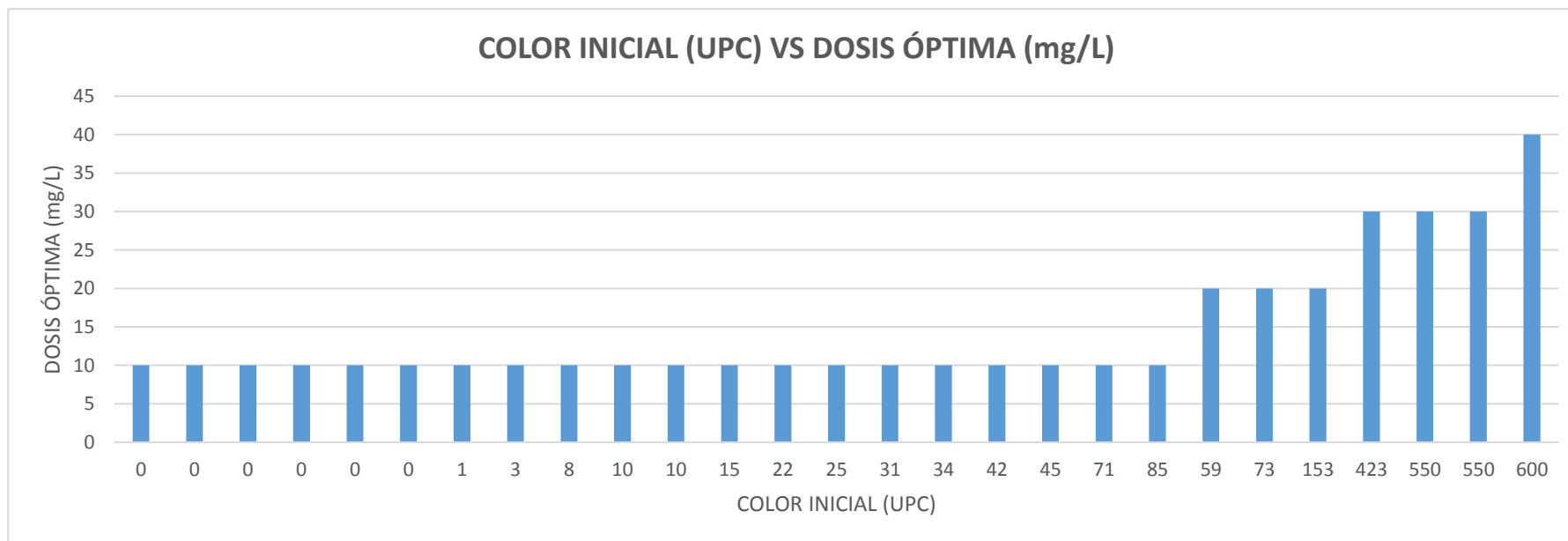


Gráfico 5 – 3: Relación entre la Color Inicial frente a la Dosis Óptima

Elaborado por: Yajaira Chele, 2019

En estos dos gráficos podemos evidenciar la diferencia de la dosificación en la turbiedad y el color para algunos casos que ya fueron mencionados con anterioridad.

3.6. Porcentaje de la remoción de los parámetros fisicoquímicos (Turbiedad y Color) que se pusieron a disposición mediante todo el estudio.

En este punto se da a conocer los resultados del porcentaje de la remoción de turbiedad y color que se obtuvieron después de la aplicación de la dosis óptima de coagulante en cada uno de las pruebas realizadas durante el transcurso de todo el estudio.

3.6.1. Porcentaje de remoción de Turbiedad

El porcentaje de remoción de Turbiedad se obtuvo mediante el empleo de la siguiente ecuación.

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

Ecuación (1 – 3)

El porcentaje de remoción de turbiedad basada y calculada mediante la ecuación 1 - 3 se muestra en la tabla 17 – 3 debiendo ser determinado después de llevarse a cabo la respectiva prueba de jarra.

Tabla 17 – 3: Porcentaje de remoción de Turbiedad

| NUM. PRUEBA | TURBIEDAD INICIAL (NTU) | TURBIEDAD FINAL (NTU) | REMOCION DE TURB. (%) |
|-------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 8,10 | 2,66 | 67,16 |
| 2 | 13,20 | 2,29 | 82,65 |
| 3 | 3,67 | 3,29 | 10,35 |
| 4 | 386,00 | 3,98 | 98,97 |
| 5 | 7,96 | 2,27 | 71,48 |
| 6 | 6,10 | 1,32 | 78,36 |
| 7 | 5,33 | 3,91 | 26,64 |
| 8 | 186,00 | 1,83 | 99,02 |
| 9 | 16,60 | 3,52 | 78,80 |
| 10 | 89,70 | 3,73 | 95,84 |
| 11 | 27,30 | 3,49 | 87,22 |
| 12 | 7,43 | 2,33 | 68,64 |
| 13 | 13,20 | 2,25 | 82,95 |
| 14 | 572,00 | 1,44 | 99,75 |
| 15 | 12,00 | 1,63 | 86,42 |
| 16 | 8,17 | 4,42 | 45,90 |
| 17 | 8,84 | 3,84 | 56,56 |

| | | | |
|----|-------|------|-------|
| 18 | 5,41 | 3,51 | 35,12 |
| 19 | 2,23 | 1,35 | 39,46 |
| 20 | 2,70 | 0,69 | 74,44 |
| 21 | 6,27 | 2,67 | 57,42 |
| 22 | 3,31 | 1,91 | 42,30 |
| 23 | 4,22 | 1,08 | 74,41 |
| 24 | 2,72 | 1,65 | 39,34 |
| 25 | 11,20 | 1,12 | 90,00 |
| 26 | 3,03 | 0,42 | 86,14 |
| 27 | 4,56 | 1,73 | 62,06 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

Se pueden apreciar que el sulfato de aluminio es efectivo ya que en la mayoría de los casos el porcentaje de remoción está por encima del 65% debiéndose tomar muy en cuenta que en algunos casos la turbiedad era baja y se acordó desde el principio que se trabajaría reduciendo este parámetro hasta obtener valores de la turbiedad iguales o inferiores a los que se estipula en la NTE INEN 1108 vigente, por ello cabe recalcar que se obtuvieron un porcentaje de remoción baja de 10%.

A continuación, en el gráfico 6 – 3 se indica los datos de la tabla de porcentaje de remoción de turbiedad.

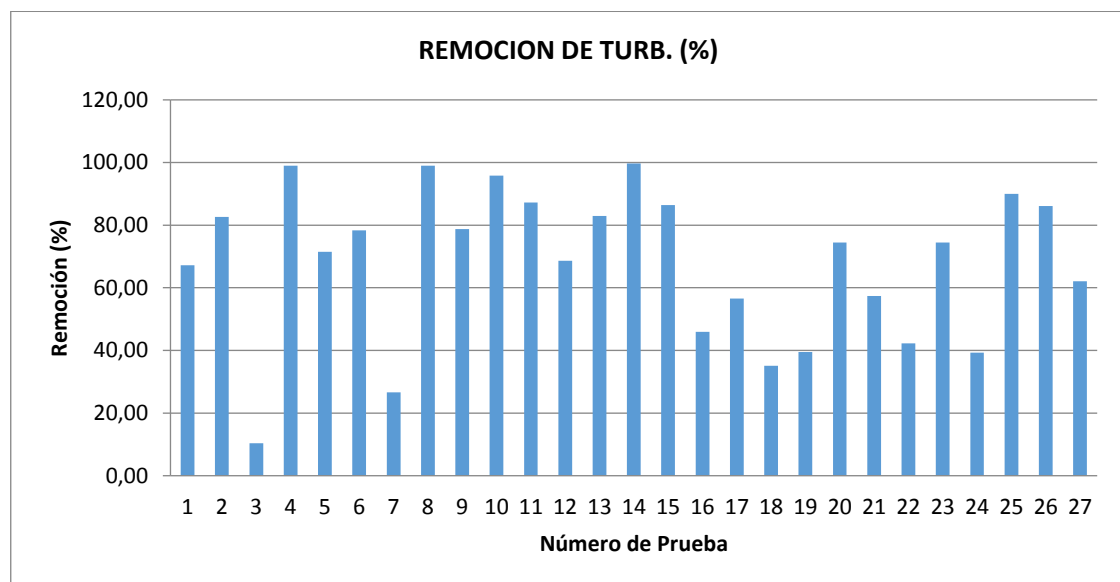


Gráfico 6 – 3: Porcentaje de remoción de turbiedad

Elaborado por: Yajaira Chele, 2019

3.6.2. Porcentaje de remoción de Color

Para conseguir el porcentaje que logro removerse en cuanto a color después de cada prueba se aplicó la siguiente ecuación

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

Ecuación 2 – 3

El porcentaje de la remoción de color que se calculó mediante la ecuación 2 – 3 exponiendo los resultados en la tabla 18 – 3 dichos cálculos se realizaron al finalizar las pruebas.

En el caso de remoción de color tenemos un porcentaje de remoción máximo 100% en casi todos los casos y no tiende a bajar del 76%, exceptuando las pruebas número 3, 19, 20, 23, 26 y 27 en las cuales no existe remoción ya que al iniciar la prueba se obtuvieron datos iniciales de cero o nulas.

Tabla 18 – 3: Porcentaje de remoción de Color

| NUM. PRUEBA | COLOR INICIAL | COLOR FINAL | REMOCION COLOR (%) |
|-------------|---------------|-------------|--------------------|
| 1 | 15,00 | 0,00 | 100 |
| 2 | 71,00 | 0,00 | 100 |
| 3 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 5 | 45,00 | 0,00 | 100 |
| 6 | 42,00 | 0,00 | 100 |
| 7 | 22,00 | 0,00 | 100 |
| 9 | 85,00 | 14,00 | 84 |
| 11 | 153,00 | 0,00 | 100 |
| 12 | 25,00 | 0,00 | 100 |
| 13 | 73,00 | 0,00 | 100 |
| 15 | 10,00 | 0,00 | 100 |
| 16 | 34,00 | 8,00 | 76 |
| 17 | 10,00 | 0,00 | 100 |
| 18 | 8,00 | 0,00 | 100 |
| 19 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 20 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 21 | 31,00 | 0,00 | 100 |
| 22 | 1,00 | 0,00 | 100 |
| 23 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 24 | 3,00 | 0,00 | 100 |

| | | | |
|----|-------|------|-----|
| 25 | 59,00 | 0,00 | 100 |
| 26 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 27 | 0,00 | 0,00 | 0 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

El porcentaje de remoción de color representado en el gráfico 7 – 3 se realizó con los datos de la tabla de porcentaje de remoción de color.

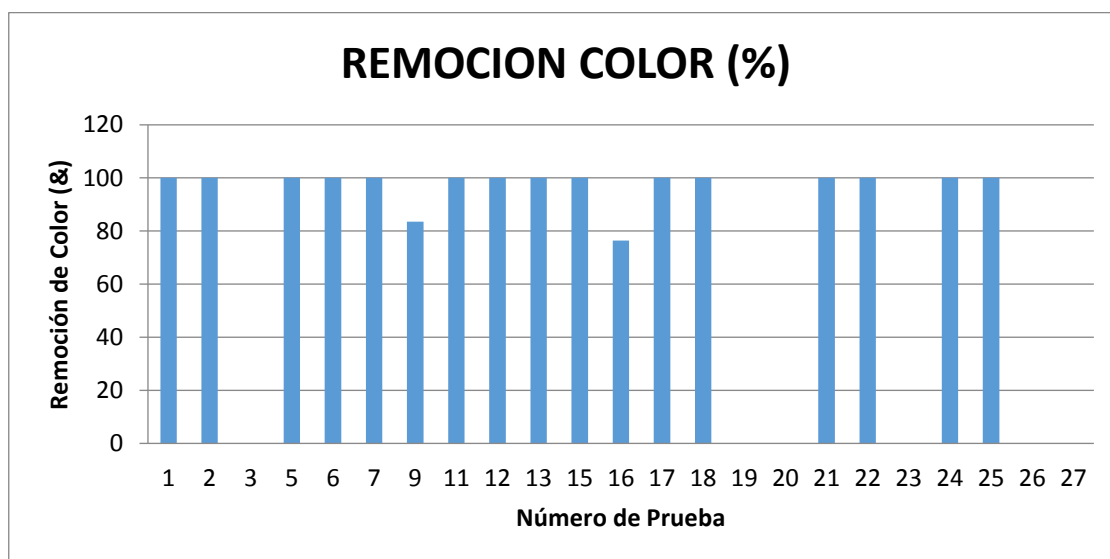


Gráfico 7 – 3: Porcentaje de remoción de Color

Elaborado por: Yajaira Chele, 2019

3.6. Comportamiento del pH en los análisis desarrollados

A continuación, detallaremos la conducta del pH durante el proceso de las pruebas.

En la tabla 19 – 3 se muestran los datos de los pH tomados al iniciar y finalizar la prueba

Tabla 19 – 3: Comportamiento del pH

| NUM. PRUEBA | pH INICIAL | pH FINAL |
|-------------|------------|----------|
| 1 | 7,96 | 7,50 |
| 2 | 7,99 | 7,62 |
| 3 | 7,89 | 7,44 |
| 4 | 7,87 | 7,12 |
| 5 | 8,03 | 7,56 |
| 6 | 7,98 | 7,53 |
| 7 | 8,18 | 7,87 |
| 8 | 7,79 | 7,29 |

| | | |
|----|------|------|
| 9 | 7,85 | 7,68 |
| 10 | 7,85 | 7,64 |
| 11 | 7,84 | 7,47 |
| 12 | 7,64 | 7,59 |
| 13 | 7,75 | 7,54 |
| 14 | 7,80 | 7,35 |
| 15 | 7,73 | 7,27 |
| 16 | 7,61 | 7,05 |
| 17 | 7,70 | 7,55 |
| 18 | 7,65 | 7,58 |
| 19 | 7,65 | 7,60 |
| 20 | 7,81 | 7,56 |
| 21 | 7,59 | 7,58 |
| 22 | 7,77 | 7,46 |
| 23 | 7,69 | 7,57 |
| 24 | 7,69 | 7,63 |
| 25 | 7,58 | 7,51 |
| 26 | 7,64 | 7,46 |
| 27 | 7,89 | 7,53 |

Fuente: Yajaira Chele

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

El Gráfico 8 – 3 este comportamiento se basó en la comparación de los datos iniciales y finales tomados de este parámetro.

Cuando agregamos el Sulfato de Aluminio tipo A el agua sufre una reducción del pH ya que el coagulante se hidroliza esto sucede en casi todos los ensayos en algunos de ellos el pH disminuye más que en otras. No se aplicó cal en ninguna de las pruebas debido a que el agua se lo considero ácida más bien esta cercana a ser neutra, a más de que en ese punto no se considera que baja en su totalidad el pH.

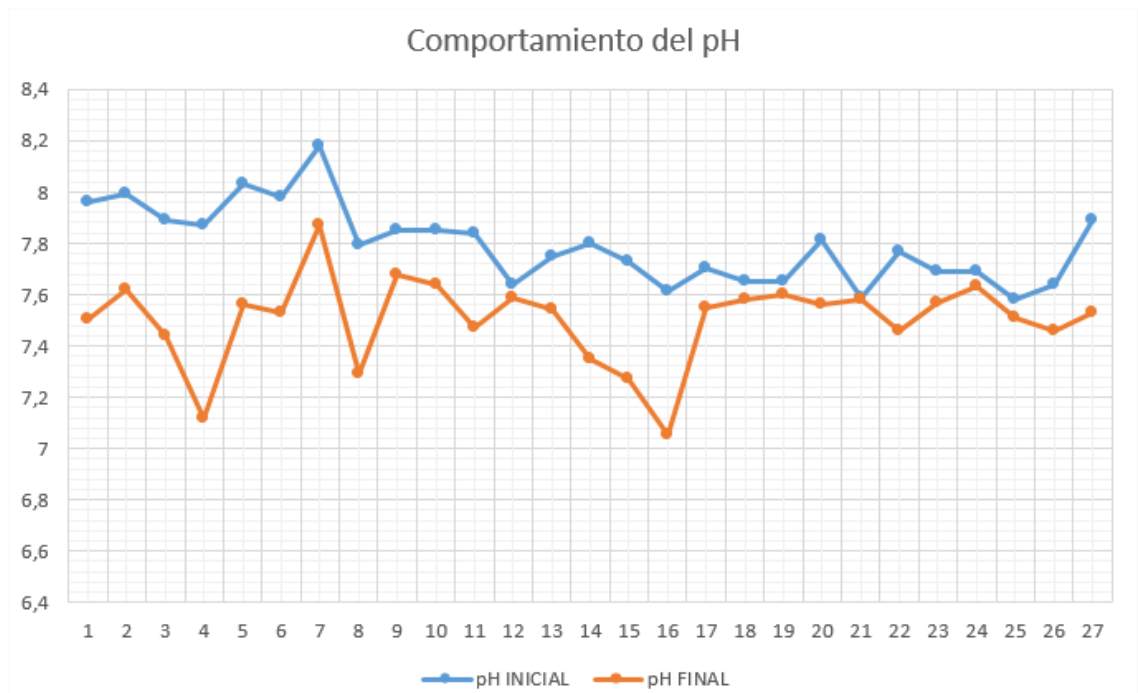


Gráfico 8 – 3: Comportamiento del pH

Elaborado por: Yajaira Chele, 2019

3.6. Obtención de la curva de calibración de coagulante Sulfato de Aluminio tipo A

La curva de calibración para la dosificación del sulfato de Aluminio tipo A, fue determinada en base a la prueba de jarras realizadas en el laboratorio de calidad de agua que posee la Planta de Tratamiento de Agua de la EPMAPA – S, utilizando agua cruda que ingresa a mencionada planta.

Cada dato obtenido en las pruebas fue analizado, estudiado y realizado el ajuste respectivo para posteriormente ser graficado y obtener la curva de calibración en relación a la dosis de Sulfato de Aluminio Tipo A, que se debe aplicar en la planta en función a la turbiedad del agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento.

La gráfica está diseñada de tal manera que se dé una correcta dosificación del coagulante por parte de los operadores de la planta, logrando así una optimización de recursos.

El método de jarras nos permitió determinar las condiciones óptimas para el tratamiento del agua haciendo que el uso del coagulante sea óptimo.

CONCLUSIONES

- Se determinó la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio tipo A en la planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa en función de la turbiedad, color y pH a nivel experimental es de 1,7mg/L hasta 10,3mg/L, cabe recalcar que cada una de estas dependerá de los parámetros físicos – químicos de la muestra analizada y las dosis aplicadas no afectan la salud del ser humano
- Se realizaron los ensayos ex-situ con el equipo prueba de jarras donde se adicionó coagulante Sulfato de Aluminio tipo A en dosis de 1,7mg/L hasta 10,3mg/L a las muestras recogidas de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa, se obtuvo una turbiedad inicial de 2,23 y 572 NTU, el color con un valor de 0 y 600 UPC y el pH estaba entre 7,58 y 8,18.
- Se definió la dosis óptima de coagulante que esta entre 1,7mg/L y 10,3mg/L después de haber realizado la prueba de jarras, la misma que está basada en que los parámetros físicos y químicos cumplan con los estándares de calidad para un agua de consumo humano que establece la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1108 Agua Potable Requisitos. Quinta Revisión 2014.
- Se realizó la curva de calibración mediante una regresión lineal expresada en la fórmula $y = 0,0728x + 13,589$; dando como resultado una recta en el plano que describe que mientras mayor sea los valores de turbiedad mayor será la cantidad de Sulfato de Aluminio tipo A así se establece la dosis de coagulante con relación al parámetro que se analizará; manteniendo estable el pH en el rango para agua potable.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable invertir en equipos para que los operadores de la planta puedan medir la turbiedad a cualquier hora ya que el clima en el cantón Sucúa es impredecible y tiene cambios constantes ya que por lo contrario el estudio que se realizó no tendría una utilidad adecuada porque el operador no puede medir la turbiedad a simple vista.
- En la actualidad el lugar donde se dosifica el coagulante es el adecuado ya que es donde existe mayor turbulencia y se realiza una mezcla adecuada no obstante el difusor o flautín no está funcionando de una manera correcta porque se requiere efectuar el cálculo de las vueltas necesarias en el tanque de dosificación del sulfato de aluminio para que este vierta la dosis adecuada.
- Se recomienda realizar una capacitación a los operadores de la planta de la correcta utilización de la curva de calibración debiéndose ejecutar primeramente un manual de procedimientos.
- Es recomendable la aplicación de fórmulas para el cálculo del número de vueltas en el dispensador de coagulante con respecto a la dosificación.

BIBLIOGRAFIA

- banco interamericano de desenvolvimiento – bid.** proceso regional de las américas: foro mundial del agua 2018: informe regional américa latina y el caribe: resumen ejecutivo. [en línea]. colombia: inter-american development bank. 2018. [consulta: 30 enero 2019]. disponible en: <https://publications.iadb.org/handle/11319/8814>.
- barajas garzón, c.l. y león luque, a.j.** *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*. [en línea]. universidad santo tomás, división de ingenierías, ingeniería ambiental. bogota. colombia: 2015. [consulta: 30 enero 2019]. disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isallowed=y>.
- bedoya, d.c.** determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa santana. [en línea]. 2012. pp. 103. [consulta: 30 enero 2019]. disponible en: <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6281622h565.pdf>
- camacho, n.** etc. coagulacion floculacion agua. [en línea]. medio ambiente. venezuela - pet caribe c.a. 2019 [consulta: 6 febrero 2019]. disponible en: <https://es.slideshare.net/nayibecamacho/coagulacion-floculacion-agua>.
- cárdenas, y.a.** *tratamiento de agua coagulación y floculación* [en línea]. 2000. s.l.: s.n. [consulta: 24 febrero 2019]. disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupid=10154.
- choque quispe, d., et.al.** capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *tecnología química*, [en línea]. 2018. vol. 38, no. 2, pp. [consulta: 24 febrero 2019]. 298-309. issn 2224-6185. disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=s2224-61852018000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- lorenzo acosta, y.** estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *icidca*. [en línea]. *sobre los derivados de la caña de azúcar*, 2006. vol. xl, no. 2, pp. 10-17. [consulta: 6 febrero 2019]. issn 0138-6204, 1025-3076. disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- medina solano, c.e.** *aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. [en línea]. universidad central del ecuador. quito - ecuador: disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15053/1/t-uce-0012-066-2018.pdf>.
- mercadolibre ecuador cia. ltda.** sulfato de aluminio granulado tipo a. [en línea]. 2019. [consulta: 6 febrero 2019]. disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/mec-418554372-sulfato-de-aluminio-granulado-tipo-a-_jm.
- microsoft word.** *coagulación floculación* [en línea]. 2018. s.l.: s.n. [consulta: 26 febrero 2019]. disponible en: http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf.
- organización mundial de la salud - oms y el unicef.** agua. [en línea]. 2018. [consulta: 30 enero 2019]. disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- pérez huahaca, w. y lópez gonzales, j.l.** aplicación de un diseño factorial 24 en la remoción de turbiedad del río rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara. *researchgate* [en línea]. 2017. [consulta: 27 febrero 2019]. disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320480001_aplicacion_de_un_diseño_factorial_24_en_la_remocion_de_turbiedad_del_rio_rimac_mediante_la_coagulacion_y_floculacion_usando_goma_de_tara.
- ruelas a.** coagulación1. [en línea]. s.l. 2011. [consulta: 22 febrero 2019]. disponible en: <https://es.slideshare.net/claudiaelisara/coagulacin1>.
- science for a healthy california – oehha.** los contaminantes del agua potable. oehha. [en línea]. 2019. [consulta: 30 enero 2019]. disponible en: <https://oehha.ca.gov/calenviroscreen/indicator/los-contaminantes-del-agua-potable>.

sela, g. la coagulación en el tratamiento de aguas. *cropaia* [en línea]. 2018. [consulta: 6 febrero 2019]. disponible en: <https://cropaia.com/es/blog/la-coagulacion-en-el-tratamiento-de-aguas/>.

simanca, m.m., et.al. calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de montería. [en línea], 2017. [consulta: 6 febrero 2019]. disponible en: repositorio.unicordoba.edu.co/handle/123456789/420.

tejero, i., et.al. *tema coagulación y floculación* [en línea]. colombia: s.n. 2018. [consulta: 24 febrero 2019]. disponible en: <https://docplayer.es/23358178-tema-coagulacion-floculacion.html>.

villena chávez, j.a. x calidad del agua y desarrollo sostenible. [en línea], 2018. vol. 35, no. 2. [consulta: 30 enero 2019]. issn 1726-4634. doi org/10.17843/rpmesp02018.35203719. disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1726-46342018000200019&lng=pt&nrm=iso.

ANEXOS

ANEXO A: Formato para la toma de datos de las pruebas.

FECHA: _____

| DATOS INICIALES | | | | DATOS PARA PRUEBA | |
|-----------------|-------|-------|-----|-------------------|------|
| pH | COLOR | NTU | | 1,7 | 0,80 |
| | | | | 3,4 | 1,60 |
| DATOS FINALES | | | | 5,2 | 2,40 |
| # JARRA | pH | COLOR | NTU | 6,9 | 3,20 |
| J1 | | | | 8,6 | 4,00 |
| J2 | | | | 10,3 | 4,80 |
| J3 | | | | | |
| J4 | | | | | |
| J5 | | | | | |
| J6 | | | | | |

Realizado por: Yajaira Chele, 2019

ANEXO B: NTE INEN 1108 Quinta Revisión Tabla 1

TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

| PARAMETRO | UNIDAD | Límite máximo permitido |
|--|------------------------------------|-------------------------|
| Características físicas | | |
| Color | Unidades de color aparente (Pt-Co) | 15 |
| Turbiedad | NTU | 5 |
| Olor | --- | no objetable |
| Sabor | --- | no objetable |
| Inorgánicas | | |
| Antimonio, Sb | mg/l | 0,02 |
| Arsénico, As | mg/l | 0,01 |
| Bario, Ba | mg/l | 0,7 |
| Boro, B | mg/l | 2,4 |
| Cadmio, Cd | mg/l | 0,003 |
| Cianuros, CN ⁻ | mg/l | 0,07 |
| Cloro libre residual* | mg/l | 0,3 a 1,5 ¹⁾ |
| Cobre, Cu | mg/l | 2,0 |
| Cromo, Cr (cromo total) | mg/l | 0,05 |
| Fluoruros | mg/l | 1,5 |
| Mercurio, Hg | mg/l | 0,006 |
| Níquel, Ni | mg/l | 0,07 |
| Nitratos, NO ₃ ⁻ | mg/l | 50 |
| Nitritos, NO ₂ ⁻ | mg/l | 3,0 |
| Plomo, Pb | mg/l | 0,01 |
| Radiación total α * | Bq/l | 0,5 |
| Radiación total β ** | Bq/l | 1,0 |
| Selenio, Se | mg/l | 0,04 |

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos
 * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu
 ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra

ANEXO C: Equipo de prueba de jarras



ANEXO D: Turbidímetro HACH 2100Q



ANEXO E: Medidor de pH AOTKLON



ANEXO F: Colorímetro HACH DR/890



ANEXO G: Materiales para la realización de la prueba de jarras



Jeringas, vasos de precipitación, sulfato de aluminio y polímero

ANEXO H: Balde recolector de muestra.



ANEXO I: Realización de la prueba de jarras.



ANEXO J: Planta de tratamiento de agua potable del cantón Sucúa.



Mezcla rápida



Coagulación / Flocculación



Sedimentadores



Filtración

ANEXO K: Curva de Calibración de Sulfato de Aluminio Tipo A para la EPMAPA – S.

