

**Mejoramiento del proceso de coagulación de la planta de tratamiento de agua potable de la  
empresa Colbeef S.A.S**

**Laura Vanessa Bueno Duarte**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Química**

**Director:**

**Hernando Guerrero Amaya**

**Ph.D. Electroquímica, Ciencia y Tecnología**

**Codirectores:**

**Yoiryn Rincón Murillo**

**Ingeniero químico**

**Jesús Alberto Acevedo Díaz**

**Ingeniero químico**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas**

**Escuela de Ingeniería Química**

**Bucaramanga**

**2020**

### **Agradecimientos**

*A la Universidad Industrial de Santander por su excelente formación académica, por aportarme en gran medida a mi crecimiento personal y profesional*

*A Yoiry Rincón, Jesús Acevedo y demás personal de la planta por su colaboración, disposición y enseñanza a lo largo de la práctica.*

*A Jorge Quintero y a mi gran amiga Bibiana, por la brindarme la oportunidad de entrar a la empresa y vivir esta experiencia tan gratificante en mi vida.*

*A mi tía Janeth, Papá, Mamá, hermana, abuelos, a mis amigas esto sin ustedes no hubiera sido posible.*

*A la vida por permitirme pasar cinco años de aprendizaje en mi alma mater, poder coincidir con personas maravillosas que me brindaron su ayuda ininidad y una amistad que deseo conservar toda mi existencia.*

***Gracias infinitas.***

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
1. Marco Teórico.....	14
1.1 Proceso de potabilización .....	15
1.1.1 Desarenado.....	16
1.1.2 Aireación.....	16
1.1.3 Coagulación y floculación. ....	17
1.1.4 Sedimentación.....	18
1.1.5 Filtración.....	18
1.1.6 Desinfección. ....	18
1.2 Prueba de Jarras .....	19
2. Objetivos.....	20
2.1 Objetivo General.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. Alcance .....	21
4. Metodología .....	21
4.1 Diagnóstico general de la planta.....	22
4.2 Verificación de variables que afectan la coagulación.....	22
4.2.1 Dosis de coagulante. ....	23
4.2.2 Concentración del coagulante.....	24

---

4.2.3 pH.....	24
4.3 Modelamiento .....	25
4.3.1 Desarrollo de herramienta para facilite la operación en la planta.....	26
5. Resultados y Análisis.....	27
5.1 Influencia de variables sobre el proceso de coagulación.....	27
5.1.1 Influencia de la dosis de coagulante. ....	27
5.1.2 Influencia de la concentración de coagulante. ....	31
5.1.3 Influencia del pH.....	31
5.1.4 Influencia de la temperatura.....	33
5.2 Modelamiento .....	34
5.2.1 Herramienta ofimática. ....	37
6. Conclusiones .....	38
7. Recomendaciones .....	39
Referencias Bibliográficas .....	40
Apéndices.....	42

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Etapas del proceso de potabilización del agua. ....	16
Figura 2. Etapas metodológicas del proyecto .....	22
Figura 3. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 3,37 NTU. ....	28
Figura 4. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 10,58 NTU. .	28
Figura 5. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 32,00 NTU. .	29
Figura 6.. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 50,00 NTU. 29	
Figura 7. Influencia de la concentración del coagulante en la coagulación.....	31
Figura 8. Influencia del pH en la coagulación con una turbiedad de agua cruda de 25,40 NTU. .	32
Figura 9. Influencia del pH en la coagulación con una turbiedad de agua cruda de 67,00 NTU. .	33
Figura 10. Tendencia de datos .....	35
Figura 11. Modelamiento de datos.....	36

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Capacidad de la empresa Colbeef S.A.S.....	14
Tabla 2. Descripción de las tareas realizadas en la práctica. ....	26
Tabla 3. Datos históricos de consumo de coagulante y agua tratada de la PTAP. ....	30

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Procedimiento de la prueba de jarras.....	42
Apéndice B. Aforo de bombas dosificadoras. ....	43
Apéndice C. Código en lenguaje VBA. ....	46
Apéndice D. Equipos utilizados en el trabajo.....	53

## Glosario

**AGUA CRUDA:** Agua que no ha recibido ningún tratamiento fisicoquímico.

**AGUA POTABLE:** Agua apta para el consumo humano.

**AFORO DE UNA BOMBA:** Determina el volumen que suministra la bomba en un tiempo determinado.

**BOMBA DOSIFICADORA:** Tipo de bomba cuyo objetivo es inyectar un químico líquido en cualquier tipo de fluido.

**AGUA FLOCULADA:** Agua que pasó por un proceso de coagulación y floculación, pero no se puede considerar todavía como potable.

**COAGULANTE:** Sustancia química que se le aplica al agua cruda y reacciona con las partículas coloidales para neutralizan las cargas con las que llegan.

**DESPOSTE:** Establecimiento en el cual se realiza el deshuese, la separación de la carne del tejido óseo y la separación de la carne en diferentes cortes.

**FILTROS MULTILECHOS:** Filtros diseñados específicamente para la remoción de turbidez y sólidos en suspensión presentes en el agua.

**FLOC:** Es el aglomerado de partículas finas por acción de la floculación.

**TURBIEDAD:** Es la medida o indicador del grado de transparencia de un líquido. En agua potable es uno de los indicadores más importantes al momento de analizar su calidad.

**TRANSMITANCIA DE LUZ:** Fracción de luz incidente que pasa a través de una muestra.

**NTU:** Nephelometric Turbidity Unit, es la unidad en la que se mide la turbidez de un fluido.

**VBA:** Visual Basic para aplicaciones, es el lenguaje de macros de Microsoft Visual Basic que se utiliza para programar aplicaciones Windows.

## RESUMEN

**TÍTULO:** MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA COLBEEF S.A.S\*

**AUTOR:** LAURA VANESSA BUENO DUARTE\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Tratamiento de agua potable, Coagulación, Colbeef S.A.S

### DESCRIPCIÓN:

La empresa de beneficio animal Colbeef S.A.S posee en sus instalaciones una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), que se encarga de abastecer los edificios de administración, línea de beneficio y desposte. La planta de potabilización, contiene un desarenador, dos plantas de tratamiento de agua cruda, con tres filtros multilechos para cada una y cuatro tanques de almacenamiento. Se realizó un diagnóstico inicial del funcionamiento de la planta y se observó una necesidad de implementar una guía en el proceso de potabilización, específicamente en la dosificación de coagulante, debido a que el tratamiento del agua se realiza empíricamente por parte de los operarios. Se encontró que la variable que tiene un mayor efecto en el proceso de coagulación es la dosis de coagulante y que el pH, la temperatura y concentración del coagulante tienen efectos de menor impacto sobre este proceso. Bajo este criterio, se propuso una ecuación que modela los datos de la dosis de coagulante en función de la turbiedad de agua cruda y se desarrolló una herramienta en lenguaje VBA en el programa Microsoft Office Excel con el objetivo de estandarizar la operación del tratamiento de agua.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Prof. Hernando Guerrero Amaya. Codirectores: Ing. Yoiryn Rincón Murillo e Ing. Jesús Acevedo Díaz

### Abstract

**TITLE:** IMPROVEMENT OF THE COAGULATION PROCESS OF THE COLBEEF S.A.S COMPANY DRINKING WATER TREATMENT PLANT\*

**AUTHOR:** LAURA VANESSA BUENO DUARTE\*\*

**KEYWORDS:** Drinking water treatment plant, Coagulant, Colbeef S.A.S

**DESCRIPTION:**

Colbeef S.A.S is a slaughterhouse with a drinking water treatment plant (DWTP), which is in charge of supplying the management buildings, the processing line, and the boning hall with said liquid. The DWTP has a sand trap, two raw water treatment plants and three filters for each one of them, as well as four storage containers. After the initial diagnosis, their needs in the implementation of guidelines in the purification process were identified, specifically in the dosing of coagulant since the water treatment is carried out empirically by the employees. It was found that the variable that has a greater effect on the coagulation process is the coagulant dose and that the pH, the temperature, and the concentration of coagulant have less of an impact on this process. According to this criterion, an equation was proposed that models the data of the variable that most influences the treatment base on raw water turbidity, and with this result, VBA language was used to develop a tool that aims to standardize the water treatment operation process.

---

\* Degree Work

\*\* Chemistry Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Directed by: Hernando Guerrero Amaya. Codirectores: Ing. Yoiryn Rincón Murillo e Ing. Jesús Acevedo Díaz

## 1. Marco Teórico

Colbeef S.A.S. es una empresa de beneficio animal ubicada en vía corredor Rio Frio Cll 210 N9 – 631 Floridablanca, Santander, dedicada a prestar el servicio de beneficio, industrialización, conservación y comercialización de ganado bovino y bufalino. La empresa cuenta con una planta que está diseñada para una capacidad de producción de 500 bovinos por turno y almacenamiento en corrales de 2.065 bovinos, como se muestra en la tabla 1, dando cumplimiento a la normatividad en bienestar animal vigente. En la actualidad, esta empresa ha logrado posicionarse a nivel local, regional y nacional, cubriendo más del 55% del mercado local y participando activamente en el desarrollo de la cadena cárnica en Colombia.

Tabla 1.

*Capacidad de la empresa Colbeef S.A.S*

	Área	Capacidad	Unidad
CORRALES	Recepción y pesaje	934	Animal
	Comercialización	748	Animal
	Beneficio	383	Animal
PRODUCCIÓN	Velocidad de beneficio	69	Animal/h
	Poleas y grilletes	3350	Unidad
	Cuartos refrigeración canales	869	Canal
	Apartado y almacenamiento de vísceras	530	Animal/día
	Cavas SNC y víscera despostada	12	Tonelada
AMBIENTAL	Velocidad producción PTAP	11	L/s

	Área	Capacidad	Unidad
DESPOSTE	Almacenamiento agua potable	600	Metros cúbicos
	Velocidad producción PTAR	9	L/s
	Almacenamiento agua residual	440	Metros cúbicos
	Velocidad de desposte	20	Canal/h*banda
	Poleas	147	Unidad
	Cuarto enfriamiento rápido	7	Tonelada
	Túnel de congelación	7	Tonelada

La planta de potabilización de agua (PTAP) de la empresa Colbeef S.A.S abastece los edificios administrativos, la planta de beneficio animal y la planta de desposte. Este proceso se rige mediante la resolución número 2115 del 22 de junio del 2007, la cual indica que “el tratamiento del agua es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda con el fin de remover o reducir sus contaminantes y lograr que sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas cumplan las especificaciones” (Cogollo, 2011). Dentro de esta misma reglamentación, se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (social & Ministerio de ambiente, 2007).

### 1.1 Proceso de potabilización

El proceso de potabilización inicia con la captación de agua de la quebrada Aranzoque, que posteriormente, fluye a través de un desarenador que permite la remoción de la mayor parte de arena, y luego es conducida por una tubería directamente a la planta de potabilización, donde se realizan siete procesos conjuntos para cumplir con los parámetros establecidos por la normatividad

y posteriormente es almacenada, como se muestra en la figura 1. El tratamiento de agua cuenta con dos plantas Aqua Compac, las cuales están diseñadas para tratar un caudal de 8 L/s. Se cuenta a su vez, con cuatro tanques de almacenamiento de agua potable de 150,000 L cada uno y con tres filtros multilechos para cada una de las plantas de tratamiento.

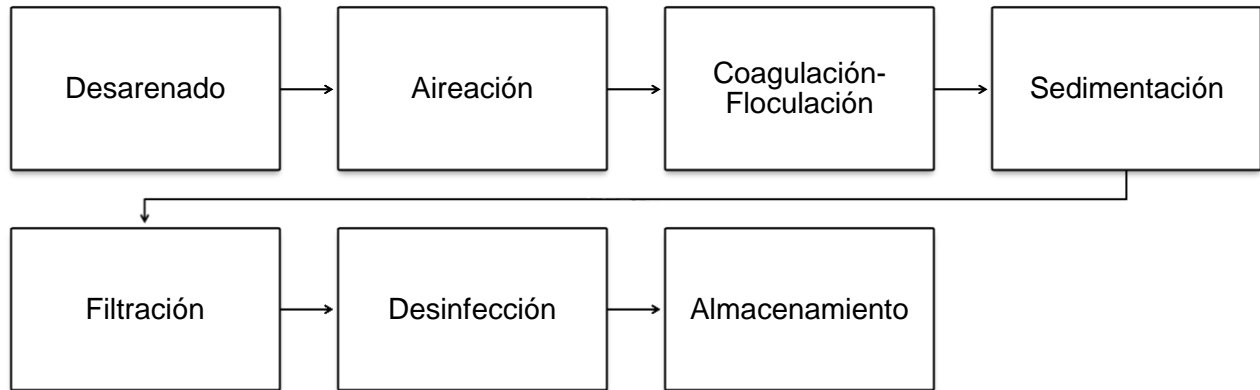


Figura 1: Etapas del proceso de potabilización del agua.

**1.1.1 Desarenado.** Retiene por sedimentación parte de la arena, lodos y demás objetos de tamaño significativo presentes en el agua cruda captada para el proceso de potabilización, tiene como objetivo de minimizar problemas por obstrucción en las tuberías. (Rincon Murillo & Rueda Caballero, 2017)

**1.1.2 Aireación.** Proceso por el cual, se aumenta el área de contacto entre el aire y el agua cruda con el fin de intercambiar sustancias volátiles, remover gases disueltos y oxidar metales presentes. Se realiza en bandejas situadas en la parte superior de la planta de potabilización con carbón activado (Rincon Murillo & Rueda Caballero, 2017).

**1.1.3 Coagulación y floculación.** El agua cruda que es captada para el tratamiento contiene partículas coloidales, las cuales presentan un tamaño muy pequeño, con una dimensión que suele estar comprendida entre  $1\ \mu\text{m}$  y  $0,2\ \mu\text{m}$ , y se encuentran en suspensión (Romero, Solorzano, Abreu, Brizuela, & Zuleima, 2007). Estas partículas presentan carga negativa causando un efecto de repulsión entre ellas, por lo que se requiere neutralizar la carga mediante un proceso fisicoquímico de coagulación y floculación (Cárdenas, 2000). Estos procesos ocurren conjuntamente en las plantas de tratamiento de agua potable. Por un lado, la coagulación es el proceso en el que se agrega un coagulante al agua mediante una mezcla rápida, este neutraliza las fuerzas de repulsión que contienen las partículas coloidales en suspensión, generando la aglomeración y posteriormente su sedimentación (Cárdenas, 2000) (Trujillo, Duque, Arcila, & Rincón, 2014). Por otro lado, la floculación es la etapa en la que pequeñas partículas desestabilizadas durante la coagulación se unen para formar partículas más grandes llamadas flóculos, mediante agitación lenta, esto con el fin de ayudar a la sedimentación que comprende la precipitación de sólidos, incluyendo aquellos que estén disueltos en el agua cruda y los generados por los químicos (Trujillo, Duque, Arcila, & Rincón, 2014).

El coagulante utilizado en el tratamiento de agua potable de la empresa Colbeef S.A.S. es el hidroxiclorigenato de aluminio,  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , concentrado en peso al 23% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , el cual es una sal inorgánica capaz de formar partículas con alta rapidez, logrando un alto porcentaje de remoción de turbiedades respecto a otros coagulantes (Hernández, Gonzales, Sandoval, Galván, & Contretas, 2013).

Diferentes variables influyen en este proceso, como lo son la turbiedad del agua que suele considerarse el parámetro más importante para determinar la eficiencia del tratamiento de coagulación [4], el pH, la temperatura, el color, los cationes o aniones presentes en el agua cruda,

la dosis y concentración de coagulante, la intensidad de mezcla rápida y gradiente de velocidad de mezcla lenta (Arboleda Valencia, 2000).

De las variables que intervienen en el proceso de coagulación, solo la turbiedad del agua, el pH, la temperatura, la dosis de coagulante y la concentración de coagulante se pueden medir desde el laboratorio de PTAP de la compañía, por lo tanto, los demás se descartaron en este estudio.

**1.1.4 Sedimentación.** En este proceso se eliminan las partículas que se han aglomerado en el proceso de floculación. Se lleva a cabo utilizando un sedimentador de placas paralelas el cual reduce el área operativa requerida en un alto porcentaje (Cogollo, 2011).

**1.1.5 Filtración.** Para eliminar las partículas que sobrepasan el proceso de sedimentación se hace pasar el agua por lechos filtrante. Los medios filtrantes que se usan con regularidad son arena, antracita y carbón activado (Arboleda Valencia, 2000). Al finalizar este proceso, el efluente debe presentar condiciones físicas óptimas en cuanto a color y con una turbiedad máxima de 2 NTU (social & Ministerio de ambiente, 2007), es decir, de este proceso sale el agua clarificada. La máxima turbiedad de agua floculada que pueden recibir los filtros es de 5 NTU para evitar su saturación.

**1.1.6 Desinfección.** Se lleva a cabo por acción de una mezcla de cloro activo inyectado (líquido o gaseoso) al agua clarificada mediante una bomba dosificadora. Posteriormente, se procede a almacenar en tanques cerrados para su posterior distribución.

## 1.2 Prueba de Jarras

La prueba de jarras es la técnica más usada para determinar la dosis de coagulante y otros parámetros. Con ella se realiza una simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio para después replicarlos en la planta de potabilización de agua (Restrepo Osorno, 2009).

En las pruebas de jarras se puede observar el tamaño del floc, determinar el tiempo inicial de formación de este y la turbiedad residual después de un periodo de decantación no menor a 5 minutos. Este procedimiento permite escoger como dosis óptima la jarra que presenta el floc más grande, mayor velocidad de asentamiento y menor turbiedad residual (Chulluncuy Camacho, 2011). El proceso de jarras dura aproximadamente 10 minutos, por lo tanto, cuando se presentan fuertes lluvias las turbiedades del agua aumentan de manera muy rápida, por esta razón es importante contar con una herramienta que pueda suministrar un valor de dosis de coagulante en un tiempo más corto. Esto no significa descartar la prueba de jarras, sino dar una respuesta viable en tiempo corto mientras se lleva a cabo esta prueba. En el Apéndice A se encuentra el paso a paso de una prueba de jarras.

La planta de tratamiento de agua de la empresa Colbeef S.A.S no cuenta con una guía de implementación en el proceso de potabilización, específicamente en la dosificación de coagulante, debido a que, el tratamiento del agua se realiza empíricamente por parte de los operarios. De igual forma, no se cuenta con un estudio previo de las variables que influyen en la coagulación y no se tiene una curva de calibración de aforo de las bombas dosificadoras para tener una precisión en la dosis de coagulante. Por lo cual, este trabajo buscó desarrollar una herramienta que permita la estandarización de la dosis de coagulante para mejorar el proceso de tratamiento de agua cruda.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Establecer un procedimiento adecuado de dosificación para mejorar la coagulación de la planta de tratamiento de agua potable de la empresa Colbeef S.A.S.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Reconocer puntos de mejora proponiendo alternativas de solución en la planta de potabilización de la empresa Colbeef S.A.S.
- Analizar las variables que influyen en el proceso de coagulación de la planta de tratamiento de agua potable.
- Desarrollar un modelo matemático y una herramienta para facilitar la determinación de la dosis adecuada de coagulante en el proceso de potabilización.

### **3. Alcance**

Mejorar el proceso de coagulación en el tratamiento de agua potable de la empresa Colbeef S.A.S, mediante el uso de un modelo matemático que relacione las variables que mayor influencia tienen en el proceso con la turbiedad de agua cruda, para posteriormente implementar una herramienta computacional que facilite la dosificación del coagulante y el control de la planta.

### **4. Metodología**

En la figura 2, se observan las etapas implementadas en el desarrollo del trabajo, el cual, esta dividido en tres, las cuales estan relacionadas entre si y cada una de ellas depende de la anterior. En la tabla 2, se registran las tareas realizadas en la practica empresarial para cumplir con las etapas del trabajo.

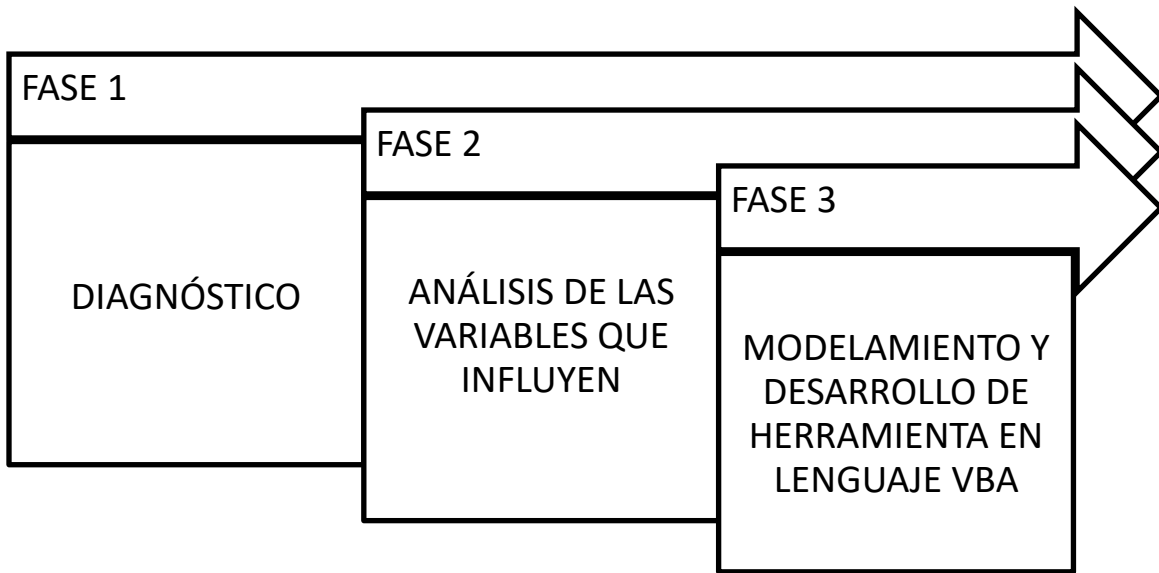


Figura 2. Etapas metodológicas del proyecto

#### 4.1 Diagnóstico general de la planta

Se realizó un reconocimiento de la planta de potabilización de la empresa Colbeef S.A.S. con el objetivo de inspeccionar las falencias y proponer alternativas de mejora en el proceso de coagulación.

#### 4.2 Verificación de variables que afectan la coagulación

Para analizar el efecto de las diferentes variables sobre el proceso de coagulación se usó agua cruda con diferentes turbiedades y se desarrolló un procedimiento diferente para determinar el efecto de cada variable. El parámetro que verifica lo anterior es la turbiedad de agua floculada, pues un valor bajo (menor de 3 NTU) de turbiedad floculada determina el proceso correcto de coagulación.

Conjunto a esto, los experimentos se realizaron con una concentración en volumen de hidroxiclورو de aluminio del 20%. El coagulante viene de fabrica con una concentración en peso al 23% de  $Al_2O_3$ . Posteriormente en los ensayos realizados se cambia la concentración volumétrica total del coagulante en agua, es decir, la concentración en volumen no hace referencia al óxido presente en la solución. Igualmente, se busca con estos experimentos revisar si es posible reducir esta concentración volumétrica para disminuir costos.

**4.2.1 Dosis de coagulante.** El objetivo del siguiente ensayo es determinar la dosis de coagulante que produce una turbiedad de agua floculada más baja, desestabilizando más rápido las partículas coloidales, de tal manera, que forme el floc más pesado y compacto que pueda ser sedimentar en menor tiempo.

Para verificar la influencia de esta variable se realizaron experimentos con turbiedades de 3,37 NTU, 10,58 NTU, 32,00 NTU y 50,00 NTU.

- Llenar ocho vasos de precipitado de 1L con agua cruda.
- Calcular el volumen de coagulante correspondiente al volumen de agua que se va a tratar, haciendo uso de la ecuación 1. La densidad del coagulante es de 1.37 g/ml y se utilizó una concentración en volumen del 20% de coagulante, pues esta es la concentración normalmente usada por la empresa para el tratamiento.

$$Dosisificación[ml] = \frac{ppm \text{ coagulante} * volumen \text{ de agua}}{Densidad \text{ del coagulante} * Concentración \text{ del coagulante}} \quad (Ec. 1)$$

- Agregar a cada vaso de precipitado la dosificación calculada.
- Tomar una muestra de cada vaso y determinar la turbiedad.
- Repetir el procedimiento tres veces con turbiedades distintas.

**4.2.2 Concentración del coagulante.** El objetivo del siguiente ensayo es determinar la concentración en volumen de la solución de hidroxiclورو de aluminio que de los mejores resultados en la planta de tratamiento.

Para verificar la influencia de esta variable se realizaron experimentos con turbiedades de 3,37 NTU, 10,58 NTU, 32,00 NTU y 50,00 NTU.

- Realizar una prueba de jarras convencional y determinar la dosis óptima para la turbiedad presentada por el agua cruda como se realizó en el ensayo anteriormente mencionado, haciendo uso de la ecuación 1.
- Preparar soluciones de hidroxiclورو de aluminio en probetas de 100 mL para la concentración volumétrica de 10%, 20% y 40%. Estos porcentajes fueron seleccionados teniendo en cuenta que, concentraciones mayores de solución se tienden a cristalizar, ocasionando obstrucción en la tubería.
- Llenar tres vasos de precipitado de 1L con agua cruda.
- Agregar a cada vaso la dosis hallada en el primer paso con cada concentración y realizar la prueba de jarras de manera convencional.
- Tomar una muestra de cada vaso y determinar la turbiedad.
- Repetir el procedimiento tres veces con turbiedades distintas.

**4.2.3 pH.** El presente ensayo tiene como objetivo determinar el rango de pH óptimo, en el cual, trabaja el coagulante implementado en la planta de tratamiento.

Para verificar la influencia de esta variable se realizaron experimentos con turbiedades de 25,40 NTU y 67,00 NTU.

- Realizar una prueba de jarras convencional y determinar la dosis óptima para la turbiedad presentada por el agua cruda mediante la ecuación 1.
- Poner nueve vasos de precipitado de 1L en la prueba de jarra y agregar lentamente una mínima cantidad de ácido láctico o soda cáustica con una jeringa de 1ml, de tal manera que, en cada vaso se alcancen diferentes valores de pH, que van desde 5 a 9 aumentando proporcionalmente 0,5.
- Agregar a cada vaso la dosis hallada en el primer paso y realizar la prueba de jarras de manera convencional.
- Tomar una muestra de cada vaso y determinar la turbiedad.
- Repetir el procedimiento una vez más.

### 4.3 Modelamiento

Los resultados anteriores fueron utilizados, para determinar las variables que influyen de manera significativa y las cuales se deben tener en cuenta al momento de realizar un modelo que relacione la turbiedad de agua cruda. Para el modelamiento, se realiza un monitoreo diario en donde se recolectan datos de turbiedad de agua cruda, turbiedad floculada y variables que influyen en el proceso. En un primer momento se realizó una aproximación matemática donde se observa la tendencia de los datos. Para realizar un modelamiento más exacto se usó el Sitio web [Zunzun.com](http://Zunzun.com), esta herramienta puede ajustar en línea datos 2D y 3D con un amplio conjunto de histogramas de error, gráficos de error, gráficos de curva, gráficos de superficie, entre otros. Para verificar los datos obtenidos de la anterior herramienta se realizó la respectiva gráfica en una hoja de cálculo.

**4.3.1 Desarrollo de herramienta para facilite la operación en la planta.** Se realizó una herramienta ofimática en Microsoft Office Excel usando lenguaje VBA para facilitar la determinación de la dosis adecuada de coagulante en el proceso de potabilización, en donde se ingresa un valor de turbiedad de agua cruda y la herramienta muestra la dosis de coagulante que se debe agregar al tratamiento, conjunto a esto se creó un instructivo o guía específica para facilitar el uso de esta herramienta.

Tabla 2.

*Descripción de las tareas realizadas en la práctica.*

<b>Tarea</b>	<b>Descripción</b>
1. Diagnóstico	Se realizó una inspección a la planta para establecer el problema a resolver.
2. Monitoreo de la planta diario	Se llevo a cabo la supervisión de la planta de tratamiento de agua potable.
3. Seguimiento de dosificación	Se realizó un formato, el cual, estuvo a disposición de los operarios donde se registraba el consumo químico diario para cada turbiedad específica.
4. Experimentación	Se realizaron una serie de experimentos para verificar la influencia de variables en el tratamiento de potabilización.
5. Aforo de bombas dosificadoras	Se realizó un aforo de bombas dosificadoras, con el fin de estandarizar las combinaciones y la dosis necesarias para cada turbiedad.
6. Modelamiento	Se modeló una ecuación que relaciona la turbiedad del agua cruda con la dosis de coagulante que se debe aplicar.
7. Realizar una herramienta con lenguaje VBA	Se desarrollo una herramienta, la cual, dictará la dosis de coagulante necesaria para cada turbiedad, de igual

Tarea	Descripción
	manera, esta herramienta facilita la verificación y el correcto seguimiento de la planta.

## 5. Resultados y Análisis

### 5.1 Influencia de variables sobre el proceso de coagulación.

**5.1.1 Influencia de la dosis de coagulante.** En las siguientes figuras, se evidencia el comportamiento de la turbiedad del agua floculada en función de la dosis de hidroxiclóruo de aluminio, para cuatro distintas turbiedades de agua cruda, en donde se observan puntos mínimos señalados con las figuras geométricas. Estos valores corresponden a las dosis de coagulante que presentaron los mejores resultados durante el proceso, siendo el punto marcado con el cuadrado, el más conveniente para el proceso, ya que presenta una menor dosis. El punto demarcado con un círculo corresponde a una dosis mayor, la cual, presenta una sobredosificación que incrementaría los costos en referencia con el anterior valor. Por otro lado, durante el desarrollo del experimento se observó que, cuando la muestra se encuentra sobredosificada, presenta un color grisáceo.

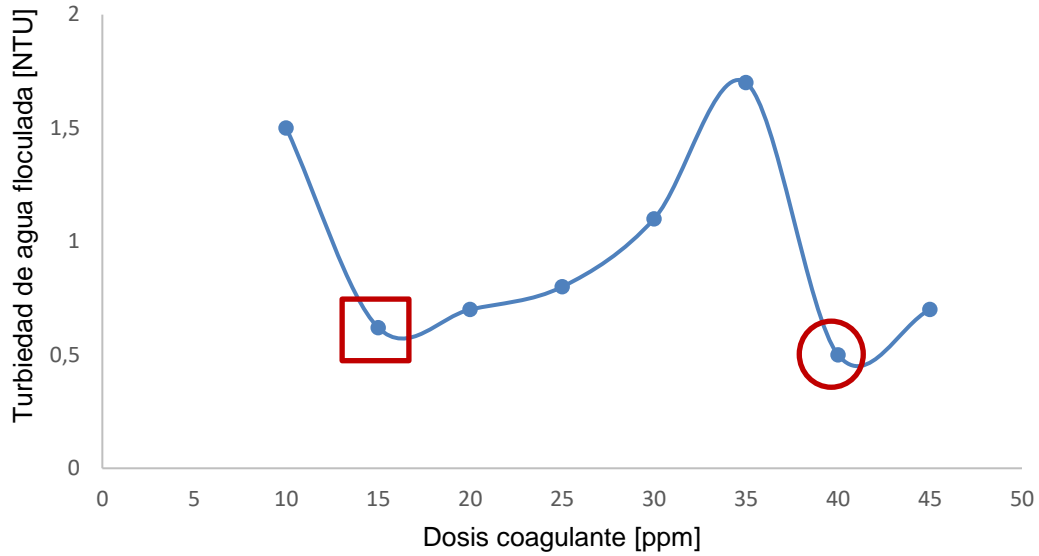


Figura 3. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 3,37 NTU.

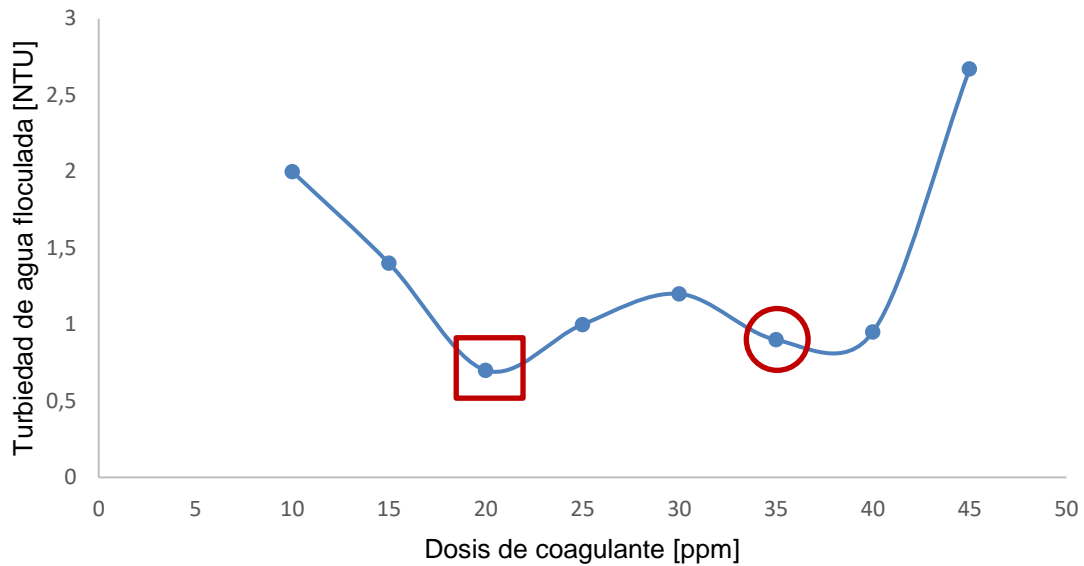


Figura 4. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 10,58 NTU.

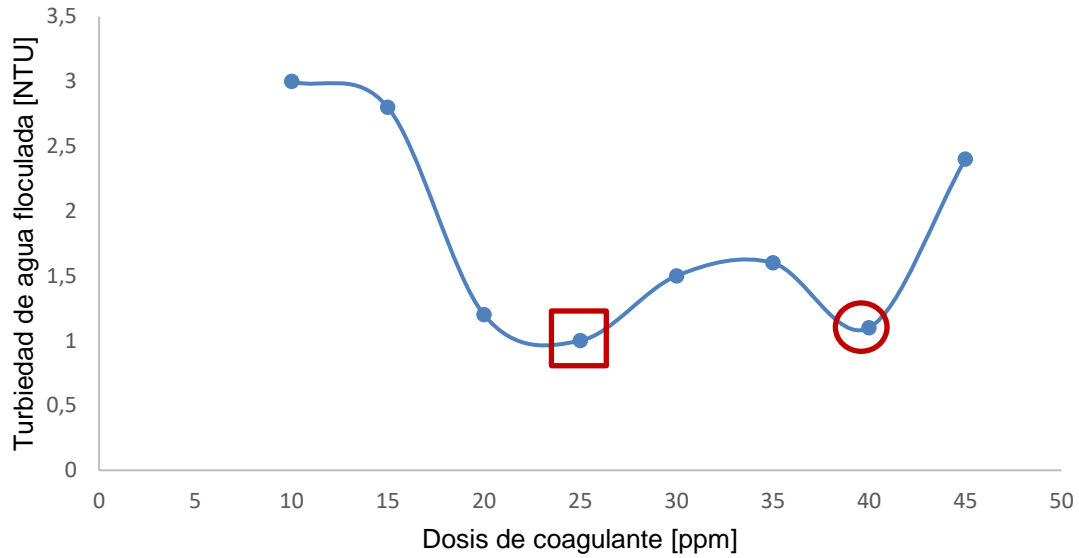


Figura 5. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 32,00 NTU.

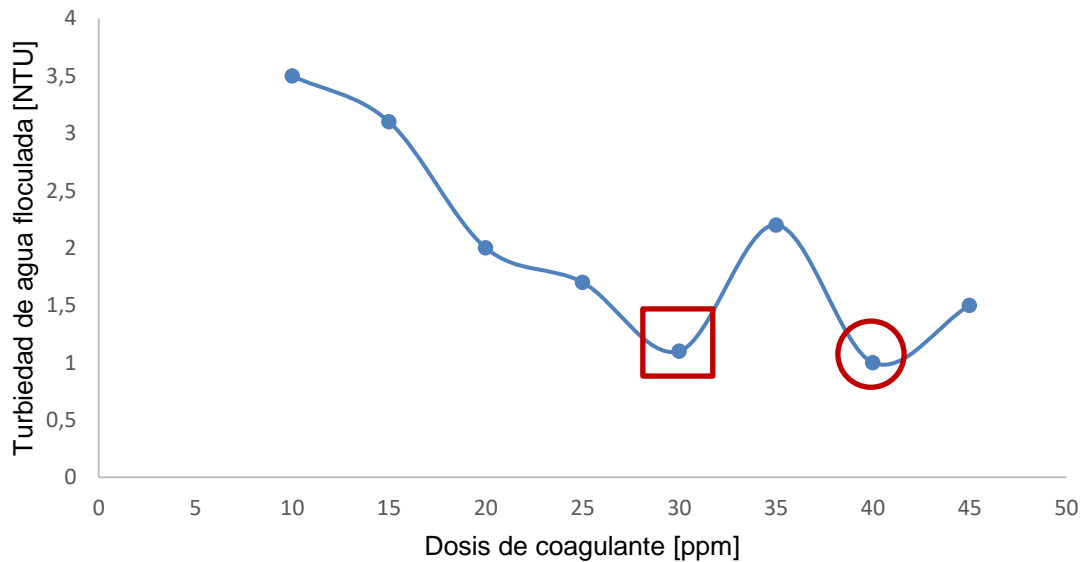


Figura 6. Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación para turbiedad de 50,00 NTU.

Como se puede observar en las figuras (3,4,5,6), la relación dosis de coagulante con turbiedad del agua floculada, tienden a representar una gráfica sinusoidal, en donde pueden dar más de un

valor mínimo, lo cual, si no se tiene una manera estándar de regular la dosificación de coagulante conlleva a la sobredosificación de la planta.

Los datos históricos de PTAP de consumo de coagulante y agua tratada por mes, se presentan en la tabla 3. En este caso, los valores negativos en el indicador de consumo significan que hubo una disminución respecto al mes del anterior año, y los positivos indican aumento. En el mes de mayo, se presentó una disminución del consumo de coagulante del 45% respecto al año 2018, además, se redujeron los metros cúbicos tratados a un 8%. Con esto, se observó que sí era necesario una regulación de la dosis y una implementación adecuada de la misma para el tratamiento de agua, esta disminución se dio gracias a que los monitoreos diarios de la dosis aplicada, se realizaron con más rigor.

Tabla 3.

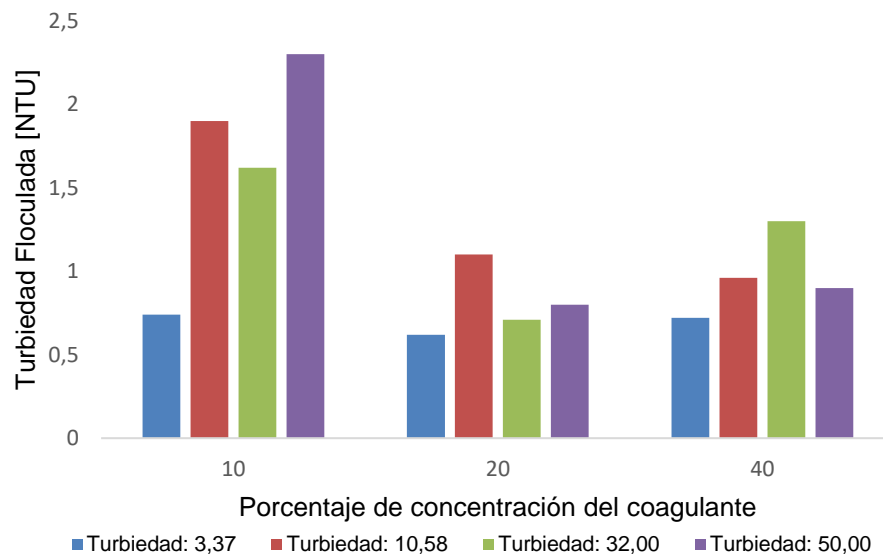
*Datos históricos de consumo de coagulante y agua tratada de la PTAP.*

Mes	Consumo coagulante [kg]		Agua Tratada [m <sup>3</sup> ]		Indicador consumo de coagulante*	Indicador agua tratada**
	2018	2019	2018	2019		
<b>Enero</b>	757	759	13277	15291	0%	15%
<b>Febrero</b>	676	758	11857	13500	12%	14%
<b>Marzo</b>	758	946	13297	14309	25%	8%
<b>Abril</b>	815	846	14303	12874	4%	-10%
<b>Mayo</b>	761	420	13346	12230	-45%	-8%
<b>Junio</b>	882	444	13330	15213	-50%	14%
<b>Julio</b>	882	397	15468	16004	-55%	3%
<b>Agosto</b>	874	437	15337	16859	-50%	10%
<b>Septiembre</b>	804	363	14098	14981	-55%	6%
<b>Octubre</b>	894	434	15690	16464	-51%	5%

\* Diferencia de consumo de coagulante entre el año 2018 y año 2019.

\*\*Relación entre el agua tratada el año 2018 con el año 2019.

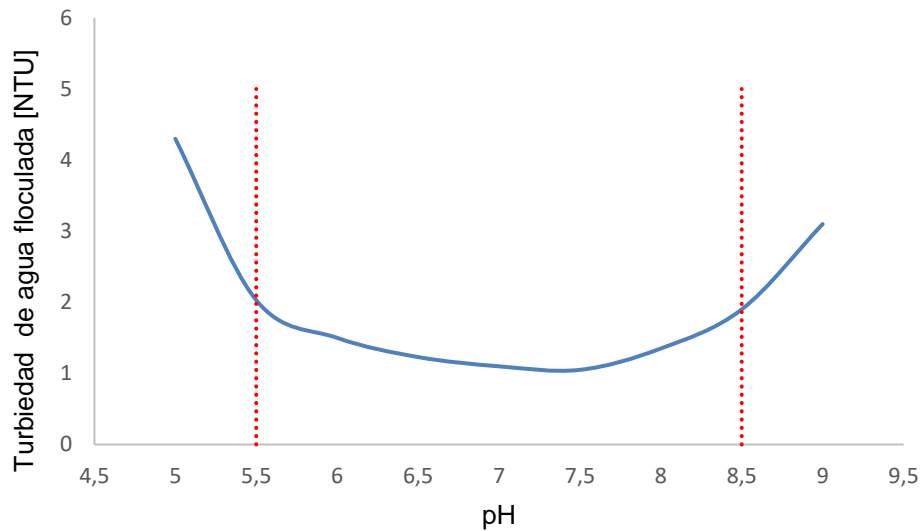
**5.1.2 Influencia de la concentración de coagulante.** En la figura 7, se observa que los valores menores los genera la concentración en volumen del 20%. Se realizaron experimentos con una concentración en volumen al 10%, pero se obtuvieron datos muy altos de turbiedad después del proceso, por lo tanto, este valor o uno menor a este, no es óptimo para el tratamiento. Los datos que muestra el experimento de la concentración en volumen al 40%, son semejantes al de 20%, por lo tanto, se escoge el que genere menores costos para la empresa, es decir, una concentración al 20%, conjunto a esto, se escoge esta, puesto que, el hidroxiclóruo de aluminio tiene mayor probabilidad a cristalizarse cuando presenta una mayor concentración y esto puede generar obstrucción en la tubería.



*Figura 7.* Influencia de la concentración del coagulante en la coagulación.

**5.1.3 Influencia del pH.** Se encontró en la ficha técnica suministrada por el proveedor del coagulante, que su pH óptimo de funcionamiento está entre 5 y 9, dependiendo del contenido de

carbono orgánico disuelto en el agua (S.A, 2009). En la PTAP se ha presentado un pH mínimo de 5,6 y máximo de 8,3 con un promedio de 7. Por lo cual, se podría intuir que el pH no influiría como variable en el tratamiento, debido a que, los rangos operacionales de la planta se encuentran dentro de los valores óptimos recomendados. Para verificar lo anterior, se evidencian los resultados de los experimentos en las siguientes gráficas.



*Figura 8.* Influencia del pH en la coagulación con una turbiedad de agua cruda de 25,40 NTU.

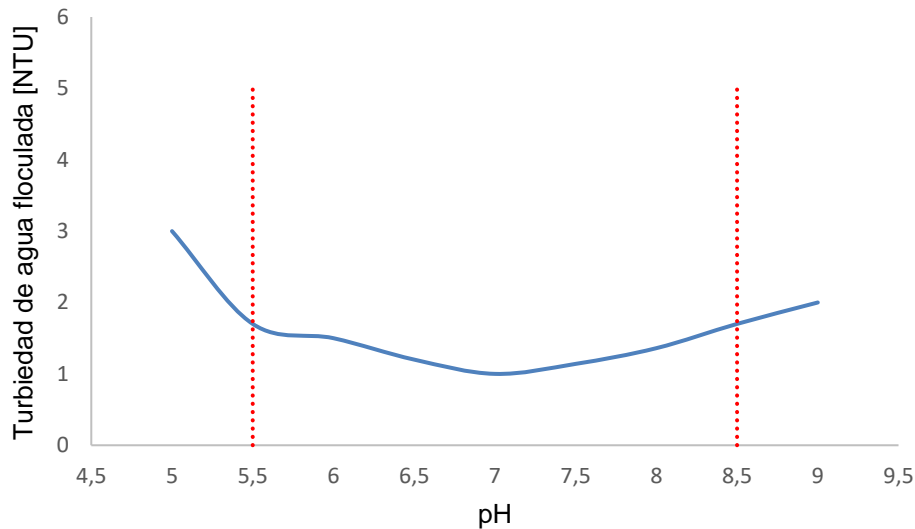


Figura 9. Influencia del pH en la coagulación con una turbiedad de agua cruda de 67,00 NTU.

En las figuras 8 y 9, se observan gráficas de turbiedad de agua floculada en función del pH. Los valores de pH estudiados corresponden al rango óptimo de pH para el hidroxiclorigenato de aluminio. En las figuras, se evidencia que para obtener turbiedades por debajo de 2 NTU se puede trabajar con valores de pH entre 5,5 y 8,5, es decir, que estos valores de pH permiten obtener agua con turbiedades aceptables en el tratamiento. Por lo tanto, el rango de pH encontrado abarca los valores históricos presentados por la PTAP de la empresa Colbeef S.A.S, por lo cual, se descarta esta variable en el presente estudio.

**5.1.4 Influencia de la temperatura.** En el libro Teoría y práctica de la purificación del agua el autor reporta que, “la temperatura afecta todas las reacciones químicas y por tanto la coagulación. Aguas muy frías, alrededor del punto de congelación, no coagulan o coagulan mal.” (Arboleda Valencia, 2000). Este efecto se produce, debido a que, bajas temperaturas aumentan el tiempo de formación del floc. Los datos históricos en la planta reportan que, la temperatura más

baja registrada del agua captada para el tratamiento es de 19°C. Con base en lo anterior, esta no se acerca al punto de congelación del agua que es de 0°C. Por lo tanto, se concluye que la temperatura no afecta la coagulación en la planta de tratamiento de la empresa Colbeef S.A.S.

## 5.2 Modelamiento

De acuerdo con el análisis de las variables que influyen en la coagulación, la dosis de coagulante es la variable que más afecta la turbiedad del agua, por lo cual, se modelaron los datos históricos, para obtener una función que permitiera predecir la dosis de coagulante en función de la turbiedad de agua cruda.

Se realizó un tratamiento previo para eliminar los datos idénticos y atípicos. Posteriormente, se llevó a cabo, un modelamiento primario con la herramienta Microsoft Office Excel para verificar la tendencia de los datos.

La figura 6, muestra en línea continua los datos obtenidos en el monitoreo realizado en la planta de potabilización. La línea de tendencia discontinua representa el ajuste realizado mediante un modelo logarítmico, definido por la ecuación 2, y que presenta un coeficiente de regresión  $R^2 = 0,9354$ , la cual está regida por la siguiente ecuación:

$$\text{Dosificación [ppm]} = 9,1688 \ln(\text{Turbiedad}) - 3,1274 \quad (\text{Ec. 2})$$

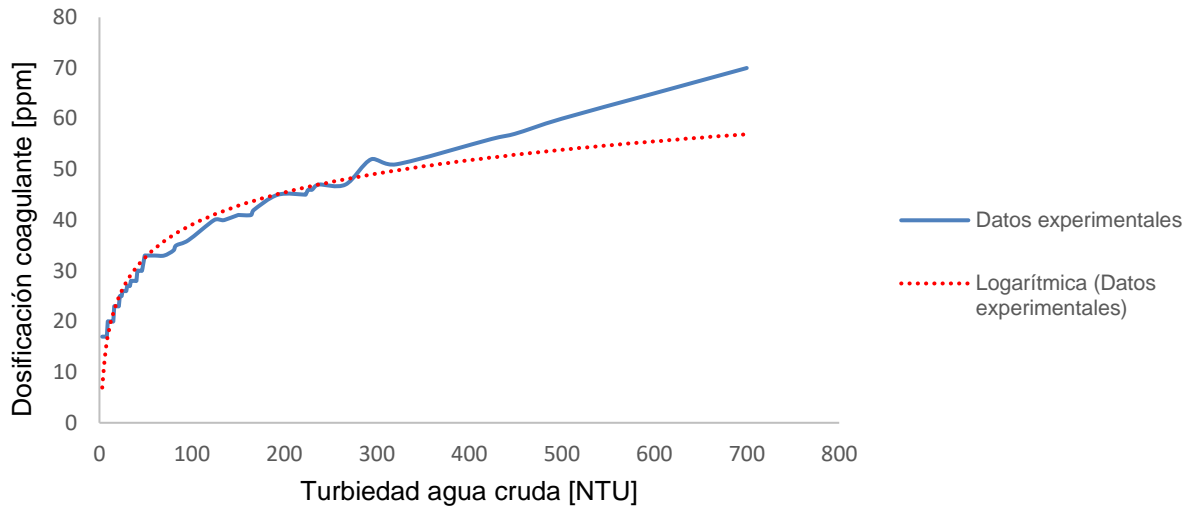


Figura 10. *Tendencia de datos*

Al principio la tendencia logarítmica es una curva que tiene un índice de crecimiento rápido, para después estabilizarse. Como se observa, los datos siguen una tendencia logarítmica pero, no se estabilizan siguiendo el modelo de una ecuación de primer orden. Cuando la turbiedad de agua cruda asciende a 400 NTU, se observa un desfase significativo lo cual hace que esta ecuación (2) no sea la indicada para el modelo, por lo tanto, se procede a realizar el tratamiento de datos con una herramienta más exacta.

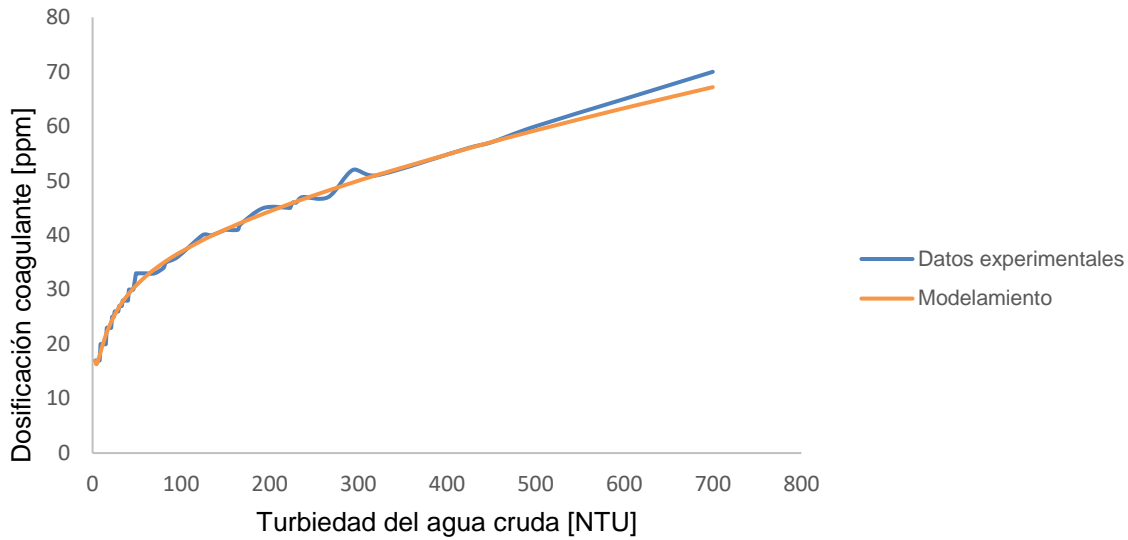


Figura 11. Modelamiento de datos

$$\text{Dosificación [ppm]} == a + b * \ln(\text{Turbiedad}) + c * \ln(\text{Turbiedad})^2 + d *$$

$$\ln(\text{Turbiedad})^3 + f * \ln(\text{Turbiedad})^4 \quad (\text{Ec } 3)$$

$$a = 30,590839427400706$$

$$b = -23,595032713689719$$

$$c = 12,379909297817669$$

$$d = -2,2214489180484440$$

$$f = 0,15441936220731023$$

Este modelo se llama logarítmico cuártico, de acuerdo con la turbiedad de agua cruda que llega a la planta, se puede obtener el valor que debe ser agregar en partes por millón de hidroxiclورو de aluminio. Para inyectar la dosis de coagulante, teniendo en cuenta las partes por millón requeridas, se debe hacer uso de la ecuación (1), la cual nos muestra los mililitros por segundo que la bomba debe agregar a la planta.

Para establecer la dosis de coagulante en las bombas dosificadoras, se debe relacionar los mililitros en función del stroke y la frecuencia de las bombas, para esto se realizó el aforo de estas con las combinaciones posibles entre ellos.

Las curvas de calibración y la tabla con los datos se encuentran en el Apéndice B.

**5.2.1 Herramienta ofimática.** Con los resultados del modelamiento mostrado anteriormente se creó una herramienta en lenguaje VBA para facilitar la dosificación de hidroxiclورو de aluminio en la operación de la PTAP. Donde la herramienta solicita un valor de turbiedad de agua cruda, de acuerdo con esto muestra un valor de dosis de hidroxiclورو de aluminio. Además, la plantilla de Excel contiene el formato interno que debe diligenciar los operarios diariamente, donde se registran los datos históricos de turbiedades en todo el proceso de potabilización, para llevar un control más monitorizado.

El código implementado en esta herramienta se encuentra en el Apéndice C. Se realizó un instructivo y capacitaciones para la correcta utilización de la herramienta.

## 6. Conclusiones

Se estableció que el tratamiento de agua potable en la empresa Colbeef S.A.S, requería una guía de seguimiento en la dosis de coagulante, para establecer su valor óptimo en cada turbiedad, de tal manera, que este mejore eficazmente.

Se determinó que la variable que mayor influencia tiene en el proceso de potabilización de agua es la dosis de coagulante. Así mismo, se evidencio que una dosificación de coagulante rigurosa representa un cambio significativo en los costos de operación.

La realización de este modelo permitió que la dosis de coagulante fuera hallada de manera más rápida y exacta, dando como resultado la disminuyendo del margen de tiempo operacional.

Se desarrollo una herramienta en lenguaje VBA en el programa Microsoft Office Excel, para determinar así, la dosis adecuada de coagulante y el eficaz seguimiento del proceso de potabilización de agua en la empresa Colbeef S.A.S.

## 7. Recomendaciones

En la planta de potabilización, se capta el agua de la quebrada Aranzoque, la cual presenta condiciones fisicoquímicas muy variadas en días específicos, lo que complica su proceso de tratamiento, ocasionando que, ante una inyección de dosis de coagulante hallada por el método anteriormente descrito, los resultados obtenidos no sean satisfactorios. Esto debido a que, el efluente proveniente de la quebrada, puede contener compuestos que son imposibles de identificar con los equipos existentes en el laboratorio de la planta, por lo cual, se recomienda realizar un análisis fisicoquímico del agua que presente la caracterización precisa de esta. Conjunto a esto, la turbiedad del agua floculada de la planta y la turbiedad del agua floculada de la prueba de jarras, tiende a tener una diferencia significativa. Por esta razón, se sugiere encontrar un factor que correlacione estas dos variables y de esta manera se proceda a la ejecución del tratamiento requerido cuando este tipo de agua se presenta.

### Referencias Bibliográficas

- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Mc Graw Hill.
- Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Lima: Sedepal .
- Chulluncuy Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*(29), 153-170.
- Cogollo, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *DYNA*, 78(165), 18-27.
- Hernández, I., Gonzales, R., Sandoval, F., Galván, J., & Contretas, R. (2013). Evaluación de cal, Sulfato e hidroxiclورو de aluminio en la coagulación-floculación del lixiviado del relleno sanitario de poza rica, veracruz. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 4(3), 1-10.
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA*, XL(2), 10-17.
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). Evaluación del proceso de coagulación- floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia.
- Rincon Murillo, Y., & Rueda Caballero, J. A. (2017). Evaluación, diagnostico y alternativas de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de capitanejo (Santander). Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Quimica.
- Romero, C., Solorzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., & Zuleima, P. (2007). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. *Ingeniería UC.*, 14(3), 16-23.
- S.A, U. (2009). Ficha del producto: Hidroxiclورو de aluminio. Bogota.

social, M. d., & Ministerio de ambiente, v. y. (2007). Resolución número 2115 de 2007 . Colombia : Minambiente.

Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J. S., & Rincón, A. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/ floculación usando almidón de platano. *rev.ion.*, 17-34.

## Apéndices

### Apéndice A. Procedimiento de la prueba de jarras.

1. Se toma una muestra de la turbiedad del agua cruda
2. Se llenan 4 vasos de precipitado de 1L
3. Se realiza una solución del hidroxiclورو de aluminio a la concentración deseada (Para este caso 20%)
4. Dependiendo de la turbiedad del agua cruda se especifican ppm que se le van a agregar a las jarras (por ejemplo 10ppm, 15ppm, 20ppm y 25ppm)
5. Para hallar los mililitros que se deben agregar de acuerdo a cada ppm se utiliza la Ec 1

$$\text{Dosificación[ml]} = \frac{\text{ppm coagulante} * \text{volumen}}{\text{Densidad del coagulante} * \text{Concentracion del coagulante}}$$

6. Con jeringas de 1cc se agrega la dosis a cada jarra
7. Se colocan los 4 vasos de precipitado en el equipo de prueba de jarras
8. Se programa una mezcla rápida que dure un minuto con 160 rpm
9. Después de la mezcla rápida se programa la mezcla lenta que dura 5 min con 20 rpm
10. Se dejan sedimentar 5 minutos
11. Se toma la turbiedad de cada vaso de precipitado

Apéndice B. Aforo de bombas dosificadoras.

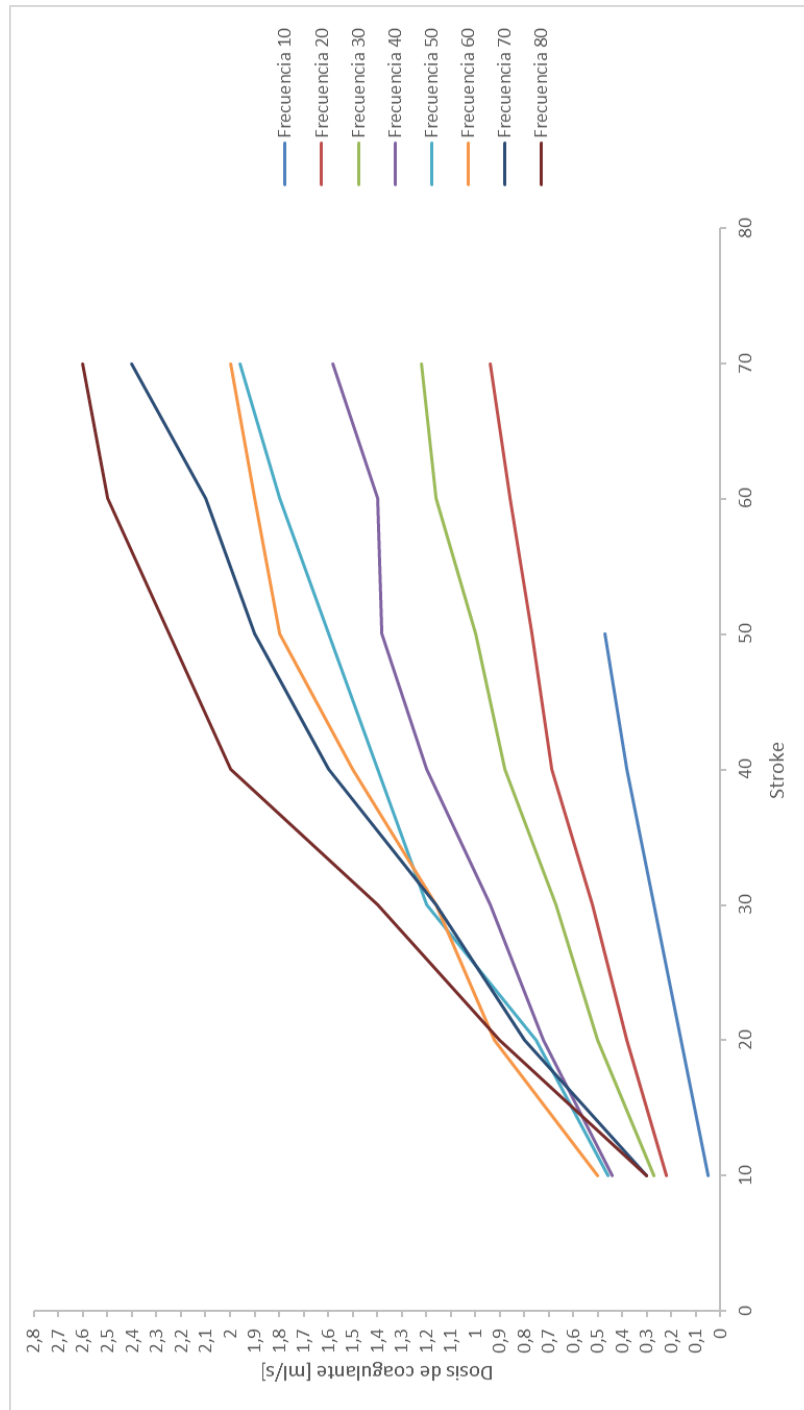


Figura B1. Curva de calibración de las bombas dosificadoras de la planta 1.

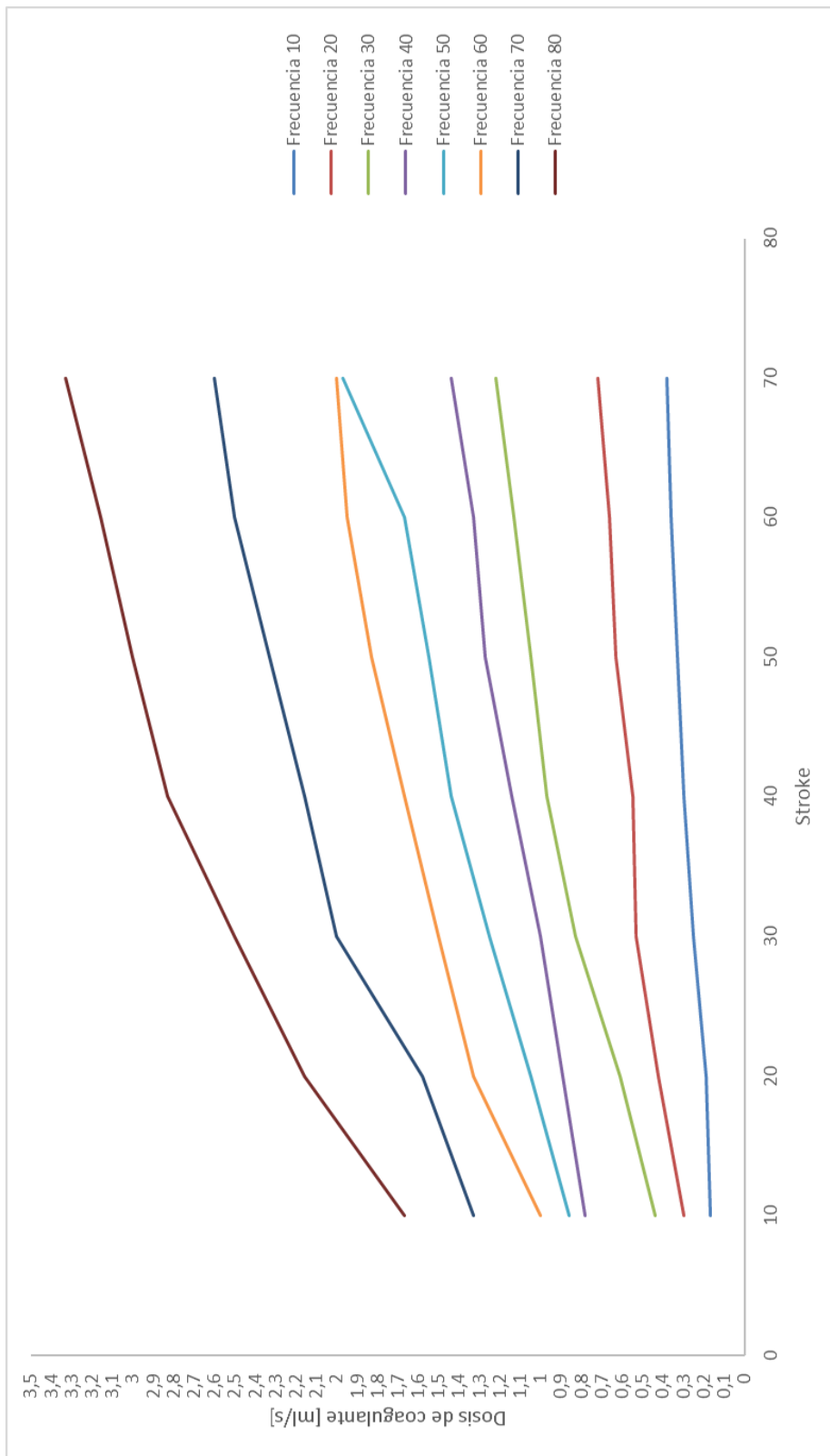


Figura B2. Curva de calibración de las bombas dosificadoras de la planta

Tabla B1. Datos de la calibración de las bombas dosificadoras.

PLANTA 1											
Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)	Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)	Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)	Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)
10	10	0,05	10	30	0,27	10	50	0,46	10	70	0,3
20	10	0,16	20	30	0,5	20	50	0,75	20	70	0,8
30	10	0,27	30	30	0,67	30	50	1,2	30	70	1,16
40	10	0,38	40	30	0,88	40	50	1,4	40	70	1,6
50	10	0,47	50	30	1	50	50	1,6	50	70	1,9
			60	30	1,16	60	50	1,8	60	70	2,1
			70	30	1,22	70	50	1,96	70	70	2,4
10	20	0,22	10	40	0,44	10	60	0,5	10	80	0,3
20	20	0,38	20	40	0,72	20	60	0,92	20	80	0,9
30	20	0,52	30	40	0,94	30	60	1,16	30	80	1,4
40	20	0,69	40	40	1,2	40	60	1,5	40	80	2
50	20	0,77	50	40	1,38	50	60	1,8	50	80	2,25
60	20	0,86	60	40	1,4	60	60	1,9	60	80	2,5
70	20	0,94	70	40	1,58	70	60	2	70	80	2,6
PLANTA 2											
Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)	Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)	Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)	Stroke	Frecuencia	Caudal (ml/s)
10	10	0,167	10	30	0,44	10	50	0,86	10	70	1,33
20	10	0,19	20	30	0,61	20	50	1,05	20	70	1,58
30	10	0,25	30	30	0,83	30	50	1,25	30	70	2
40	10	0,3	40	30	0,97	40	50	1,44	40	70	2,16
50	10	0,33	50	30	1,05	50	50	1,55	50	70	2,33
60	10	0,36	60	30	1,13	60	50	1,67	60	70	2,5
70	10	0,38	70	30	1,22	70	50	1,97	70	70	2,6
10	20	0,3	10	40	0,78	10	60	1	10	80	1,67
20	20	0,42	20	40	0,89	20	60	1,33	20	80	2,16
30	20	0,53	30	40	1	30	60	1,5	30	80	2,5
40	20	0,55	40	40	1,14	40	60	1,67	40	80	2,83
50	20	0,63	50	40	1,27	50	60	1,83	50	80	3
60	20	0,66	60	40	1,33	60	60	1,95	60	80	3,16
70	20	0,72	70	40	1,44	70	60	2	70	80	3,33

**Apéndice C. Código en lenguaje VBA.***EXPORTAR*

```
nombre_PDF = "Enero_" & Now * 1
```

```
Sheets("Formato").Select
```

```
    Sheets("Enero").Visible = True
```

```
Sheets("Enero").ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
```

```
Filename:=ThisWorkbook.Path & nombre_PDF, quality:=xlQualityStandard, _
```

```
Includedocproperties:=True, ignoreprintareas:=False, openafterpublish:=True
```

```
ActiveWorkbook.Sheets("Enero").Visible = xlSheetVeryHidden
```

```
Sheets("Formato").Select
```

*GUARDAR*

```
Dim lastrow As Long
```

```
lastrow=Cells(Rows.Count,"C").End(xlUp).Row
```

```
Sheets("Formato").Select
```

```
    Sheets("Enero").Visible = True
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
    Sheets("Enero").Select
```

```
        Range("B13:AM37").Select
```

```
Selection.Insert Shift:=xlDown, CopyOrigin:=xlFormatFromRightOrBelow
```

```
Sheets("Formato").Select
```

```
Range("B13:AM37").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Sheets("Enero").Select
```

```
ActiveSheet.Paste
```

```
Range("B13:AM34").Select
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
```

```
    .LineStyle = xlContinuous
```

```
    .ColorIndex = 0
```

```
    .TintAndShade = 0
```

```
    .Weight = xlMedium
```

```
End With
```

```
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
```

```
    .LineStyle = xlContinuous
```

```
    .ColorIndex = 0
```

```
    .TintAndShade = 0
```

```
    .Weight = xlMedium
```

```
End With
```

```
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
```

```
.LineStyle = xlContinuous
```

```
.ColorIndex = 0
```

```
.TintAndShade = 0
```

```
.Weight = xlMedium
```

```
End With
```

```
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
```

```
.LineStyle = xlContinuous
```

```
.ColorIndex = 0
```

```
.TintAndShade = 0
```

```
.Weight = xlMedium
```

```
End With
```

```
Sheets("Formato").Select
```

```
Range("B16:AM27").Select
```

```
Selection.ClearContents
```

```
Range("B29:AM34").Select
```

```
Selection.ClearContents
```

```
Application.ScreenUpdating = True
```

```
ActiveWorkbook.Sheets("Enero").Visible = xlSheetVeryHidden
```

```
Sheets("Formato").Select
```

```
MsgBox "Se guardo exitosamente"
```

Exit Sub

*TRATAMIENTO*

Private Sub CommandButton1\_Click()

Dim turbiedad As Double

Dim planta1 As Double

Dim planta2 As Double

Cells(2, 1) = TextBox1

turbiedad = TextBox1

Cells(4, 1) = TextBox2

planta1 = TextBox2

Cells(5, 1) = TextBox3

planta2 = TextBox3

TextBox5 = Cells(6, 1)

TextBox6 = Cells(7, 1)

TextBox4 = Cells(3, 1)

If turbiedad > 200 Then

MsgBox "Agregar polimero"

End If

End Sub

### *REVISAR DATOS HISTORICOS*

Sub Botón4\_Haga\_clic\_en()

Dim contraseña As String

Dim acceso As String

acceso = "\*\*\*\*\*"

contraseña = InputBox("Debe saber la contraseña de administrador para acceder a la base de datos")

If contraseña = acceso Then

MsgBox "Recuerde cerrar cuando finalice la revisión"

Sheets("Formato").Select

Sheets("Enero").Visible = True

Sheets("Febrero").Visible = True

Sheets("Marzo").Visible = True

Sheets("Abril").Visible = True

Sheets("Mayo").Visible = True

Sheets("Junio").Visible = True

Sheets("Julio").Visible = True

Sheets("Agosto").Visible = True

Sheets("Septiembre").Visible = True

Sheets("Octubre").Visible = True

Sheets("Noviembre").Visible = True

Sheets("Diciembre").Visible = True

Sheets("Formato").Select

Else

MsgBox "Contraseña incorrecta"

Exit Sub

End If

*LIMPIAR DATOS HISTORICOS*

Sub Enero\_Botón1\_Haga\_clic\_en()

,

' Limpiar Macro

Dim contraseña As String

Dim acceso As String

acceso = "\*\*\*\*\*"

contraseña = InputBox("Escriba la contraseña si desea limpiar la hoja de cálculo, de lo contrario no lo haga. Recuerde Exportar los datos a PDF de lo contrario no hay forma de recuperarlos. ")

If contraseña = acceso Then

    ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=-19

    Range("B16:AR1000").Select

    Selection.ClearContents

    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

    Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone

    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

    Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

    Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

    Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

    Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone

Else

    MsgBox "Contraseña incorrecta"

Exit Sub

End If

End Sub

#### Apéndice D. Equipos utilizados en el trabajo.



Figura D1. Turbidímetro portátil. HI93703.



Figura D2. Medidor portátil de temperatura y pH/EC/TDS.



Figura D3. Equipo de prueba de jarras.