

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE PROYECTOS**

**SOCIO PRODUCTIVOS**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE LA TURBIEDAD Y SU INCIDENCIA EN LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LAS DESCARGAS, EN LA E. P. METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, UBICADA EN EL CANTÓN QUITO, PLANTA DE TRATAMIENTO EL TROJE, DURANTE EL AÑO 2014”.**

---

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Grado de Magister en  
Gestión de Proyectos Socio Productivos.**

**AUTORA:**

Chicaiza Hidalgo Norma Elizabeth

**TUTOR:**

Ing. Jaime Flores Ojeda, M.Sc.

**Quito - Ecuador**

**2017**

# **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor, designado por la Dirección de Posgrado de la Universidad Tecnológica Indoamérica:

### **CERTIFICO:**

Que el Trabajo de Investigación **“ESTUDIO DE LA TURBIEDAD Y SU INCIDENCIA EN LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LAS DESCARGAS, EN LA E. P. METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, UBICADA EN EL CANTÓN QUITO, PLANTA DE TRATAMIENTO EL TROJE, DURANTE EL AÑO 2014”** presentado por la Maestrante Chicaiza Hidalgo Norma Elizabeth, estudiante del Programa de Maestría en Gestión de Proyectos Socio Productivos, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Jurado Examinador que la Dirección de Posgrados designe.

Quito D.M., marzo de 2017

### **TUTOR**

---

Ing. Jaime Flores Ojeda, M.Sc.

CI: 170526409-9

## UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Yo, Norma Elizabeth Chicaiza Hidalgo, declaro ser autora del Trabajo de Investigación, titulado “ESTUDIO DE LA TURBIEDAD Y SU INCIDENCIA EN LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LAS DESCARGAS, EN LA E. P. METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, UBICADA EN EL CANTÓN QUITO, PLANTA DE TRATAMIENTO EL TROJE, DURANTE EL AÑO 2014”, como requisito para optar por el Grado de Magister en Gestión de Proyectos Socio Productivos, autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autora, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, marzo del dos mil diez y siete, firmo conforme:

Autora: Norma Elizabeth Chicaiza Hidalgo

Firma \_\_\_\_\_

Número de Cédula: 1711752699

Dirección: Pana Sur, Cutuglagua, Barrio Central, calle Atacazo Lote 19.

Correo Electrónico: nelichh@hotmail.com

Teléfono: 3006033

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

El Trabajo de Investigación Científica, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previa la obtención del Grado de Magíster en Gestión de Proyectos Socio Productivos, por lo tanto, autorizamos a la postulante la presentación de su sustentación pública.

Quito D.M.,.....

**EL JURADO**

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

EXAMINADOR

---

DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi familia; principalmente mis padres Juan Chicaiza y Emma Hidalgo quienes con sus sabios consejos me alentaron para continuar en los momentos difíciles y mi adorado tesoro Cynthia Carolina por permitirme tomar el tiempo que es de ella para realizar este proyecto de vida.

Norma Elizabeth

## **AGRADECIMIENTO**

Es importante agradecer a Dios por permitirme culminar este reto que asumí, hace dos años. Luego agradezco a mi Tutor de tesis el ingeniero Jaime Flores quien me ayudo con sus conocimientos y observaciones a la culminación de este trabajo.

Norma Elizabeth

## ÍNDICE GENERAL

<b>PRELIMINARES</b>	<b>Pág.</b>
Portada .....	i
Aprobación del Tutor .....	ii
Autoría de Tesis .....	iii
Aprobación del Tribunal de Grado .....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice General .....	vii
Índice de Cuadros .....	x
Índice de Gráficos .....	xii
Resumen Ejecutivo .....	xv
Summary .....	xvi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>3</b>
<b>EL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
Tema .....	3
Línea de Investigación .....	3
Empresarialidad y productividad. ....	3
Planteamiento del Problema.....	4
Contextualización .....	4
Macro.....	4
Meso.....	6
Micro.....	7
Análisis Crítico.....	9
Prognosis.....	10
Formulación del Problema .....	10
Interrogantes de la investigación.....	10
Delimitación de la Investigación.....	11
Delimitación Espacial.....	12
Delimitación Temporal.....	12
Unidades de Observación.....	12
Justificación.....	12
Objetivos .....	13

Objetivo General .....	13
Objetivo Específico .....	13
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>15</b>
<b>MARCO TERÓRICO</b> .....	<b>15</b>
Antecedentes Investigativos .....	15
Coagulación .....	15
Factores que influyen en la coagulación .....	17
Sustancias químicas utilizadas .....	17
Sulfato de aluminio .....	18
Coagulantes Alternativos .....	18
Características del policloruro de aluminio .....	20
Ventajas del policloruro de aluminio versus el sulfato de aluminio .....	21
Fundamentaciones .....	23
Fundamentación Filosófica .....	23
Fundamentación Legal .....	24
Organizador Lógico de Variables .....	26
Constelación de Ideas de la Variable Independiente .....	27
Constelación de Ideas de la Variable dependiente .....	28
Desarrollo de las categorías fundamentales de la Variable Independiente .....	29
Desarrollo de las categorías fundamentales de la Variable Dependiente .....	29
Hipótesis .....	30
Señalamiento de variables .....	31
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>32</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>32</b>
Enfoque de la investigación .....	32
Modalidad de la investigación .....	32
Tipos o niveles de la investigación .....	33
Asociación de variables .....	33
Población .....	33
Operacionalización de variables .....	34
Técnicas e instrumentos .....	36
Plan para la Recolección de la información .....	36
Procesamiento de la información .....	37
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>39</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>



Análisis e interpretación .....	52
Verificación de Hipótesis.....	52
Modelo lógico.....	53
Modelo Matemático.....	53
Modelo Estadístico.....	53
Prueba de Hipótesis.....	53
Zona de Rechazo de la $H_0$ .....	54
Decisión.....	55
Cálculo Estadístico.....	55
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>59</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
Conclusiones .....	59
Recomendaciones .....	59
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>60</b>
<b>PROPUESTA .....</b>	<b>60</b>
Antecedentes .....	61
Justificación.....	62
Objetivos .....	62
Análisis de Factibilidad .....	63
Fundamentación Científico-Técnica.....	64
Metodología .....	65
Parámetros de Diseño.....	65
Selección de Materias Primas.....	65
Descripción del proceso productivo .....	66
Equipamiento de la planta de producción.....	68
Diagrama de Flujo del Proceso.....	71
Plan de Acción.....	72
Administración de la Propuesta.....	73
Plan de monitoreo y evaluación.....	74
Impacto de la Propuesta.....	76
Conclusiones y Recomendaciones.....	78
Conclusiones.....	78
Recomendaciones.....	78
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro N° 1: Porcentajes de cobertura de agua potable a nivel urbano y rural.....	6
Cuadro N° 2: Características físicas químicas del Policloruro de Aluminio .....	20
Cuadro N° 3: Comparación del comportamiento de coagulante Sulfato y Policloruro de Aluminio .....	21
Cuadro N° 4: Límites de descargas al alcantarillado público .....	25
Cuadro N° 5: Operacionalización de Variable Independiente .....	34
Cuadro N° 6: Operacionalización de Variable Dependiente.....	35
Cuadro N° 7: Plan de recolección.....	36
Cuadro N° 8: Determinación del género de las personas encuestadas .....	39
Cuadro N° 9: Determinación de la profesión de las personas encuestadas.....	40
Cuadro N° 10: Determinación de la edad de las personas encuestadas .....	41
Cuadro N° 11: Determinación del coagulante más utilizado .....	42
Cuadro N° 12: Determinación de criterios para seleccionar un coagulante.....	43
Cuadro N° 13: Elección de coagulante .....	44
Cuadro N° 14: Determinación de ponderación del consumo de Policloruro de Aluminio vs $Al_2(SO_4)_3$ .....	45
Cuadro N° 15: Determinación de la ponderación de generación de lodos del PAC .....	46
Cuadro N° 16: Determinación si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de $Al_2$ $(SO_4)_3$ generan Aluminio residual en las descargas .....	47
Cuadro N° 17: Determinación si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de $Al_2$ $(SO_4)_3$ generan Sólidos suspendidos totales en las descargas .....	48
Cuadro N° 18: Determinación cambio del uso de $Al_2(SO_4)_3$ de acuerdo a las ventajas del uso del PAC.....	49
Cuadro N° 19: Confirmación del uso de $Al_2(SO_4)_3$ vs. el costo del uso del PAC .....	50
Cuadro N° 20: Confirmación del uso del PAC en función de sus ventajas .....	51
Cuadro N° 21: Valores Tabulados de Distribución de Chi. Cuadrado .....	54
Cuadro N° 22: Frecuencias observadas de las Variables .....	55
Cuadro N° 23: Frecuencias esperadas de las Variables .....	57
Cuadro N° 24: Cálculo del Chi cuadrado.....	57

Cuadro N° 25: Plan de Acción del diseño.....	72
Cuadro N° 26: Evaluación del Impacto del diseño.....	77

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico No. 1: Relación causa – efecto (Árbol de problemas) .....	8
Gráfico No. 2: Categorías Fundamentales .....	26
Gráfico No. 3: Constelación de Ideas de la remoción de turbiedad .....	27
Gráfico No. 4: Constelación de Ideas de aluminio residual en las descargas .....	28
Gráfico No. 5: Representación gráfica del porcentaje de género de las personas encuestadas .....	40
Gráfico No. 6: Representación gráfica del porcentaje de profesiones de las personas encuestadas .....	41
Gráfico No. 7: Representación gráfica del porcentaje de edad de las personas encuestadas .....	42
Gráfico No. 8: Representación gráfica del porcentaje de uso de coagulante en plantas de tratamiento .....	43
Gráfico No. 9: Representación gráfica del porcentaje de uso de criterios usados para elegir coagulante .....	44
Gráfico No. 10: Representación gráfica del porcentaje de uso de coagulante .....	45
Gráfico No. 11: Representación gráfica del porcentaje de ponderación de consumo de PAC vs $Al_2(SO_4)_3$ .....	46
Gráfico No. 12: Representación gráfica del porcentaje de ponderación de generación de lodos del PAC .....	47
Gráfico No. 13: Representación gráfica del porcentaje de si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ generan Aluminio residual en las descargas .....	48
Gráfico No. 14: Representación gráfica del porcentaje de si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ generan Sólidos suspendidos totales en las descargas .....	49
Gráfico No. 15: Representación gráfica del porcentaje de cambio del uso de $Al_2(SO_4)_3$ de acuerdo a las ventajas del uso del PAC .....	50
Gráfico No. 16: Representación gráfica del porcentaje del uso de $Al_2(SO_4)_3$ vs. el costo del uso del PAC .....	51
Gráfico No. 17: Valores Críticos Chi-Cuadrado .....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo N° 1: Valores promedio de turbiedad, color y dosis de sulfato año 2014 y 2015.....	83
Anexo N° 2: Cálculo del requerimiento de materias primas para el diseño .....	84
Anexo N° 3: Cálculo Indicadores Financieros VAN – TIR – Relación Beneficio/Costo .....	84
Anexo N° 4: Formulario Encuesta aplicada en la investigación .....	85

## GLOSARIO

<b>Abreviatura y siglas</b>	<b>Descripción</b>
m g/L	Unidades de concentración en miligramos por litro.
c m/s	Unidades de velocidad
NTU	Unidades nefelométricas de turbiedad.
u Pt-Co	Unidades de Platino Cobalto, en medición de color
PAC	Policloruro de aluminio
EPMAPS	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de Aluminio
psi	Libra por pulgada cuadra, unidades de presión
°C	Grados Centígrado
°F	Grados Farenheit
L/s	Unidades de caudal, en litros por segundo

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

## CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN GESTIÓN DE PROYECTOS SOCIO PRODUCTIVOS

#### TEMA:

“ESTUDIO DE LA TURBIEDAD Y SU INCIDENCIA EN LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LAS DESCARGAS, EN LA E. P. METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, UBICADA EN EL CANTÓN QUITO, PLANTA DE TRATAMIENTO EL TROJE, DURANTE EL AÑO 2014”

#### AUTOR:

Norma Elizabeth Chicaiza Hidalgo

#### TUTOR:

Ing. Jaime Flores Ojeda, M.Sc.

### RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo de investigación se realizó con el objetivo de encontrar solución al problema presentado en la Planta de Tratamiento el Troje luego de la remoción de turbiedad y de las descargas de la planta, pues en esta se ha encontrado concentraciones de aluminio residual y sólidos suspendidos totales. Para resolver este problema se definió como propuesta realizar el diseño para una Planta Productora de policloruro de aluminio, tomando en cuenta la demanda de coagulante sulfato de aluminio y los recursos y presupuestos que pueden estar disponibles para una futura implementación del diseño, con estos datos se define las unidades del proceso como se pueden verificar en el diagrama de flujo del mismo, es importante que durante el desarrollo de la reacción para formar el PAC, se mezclarán bauxita, ácido clorhídrico y agua hasta obtener el producto con las especificaciones técnicas de densidad 1.220 - 1.365 g/m<sup>3</sup> y un % de alúmina del 13 al 16% según especificaciones técnicas de la EPMAPS. Después de realizar el análisis respectivo a cerca de los indicadores económicos VAN y TIR del diseño da a conocer que el proyecto puede ser ejecutado. Por lo tanto, se puede concluir que con el uso del PAC, se disminuirá la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de la Planta El Troje. **DESCRIPTORES:** Policloruro de aluminio, alúmina, densidad, VAN, TIR.

**TECHNOLOGY INDOAMERICA UNIVERSITY**

**CENTRE OF POSGRADUATE**

**MAESTRÍA GESTIÓN DE PROYECTOS SOCIO PRODUCTIVOS**

**TOPIC:**

"STUDY OF TURBIDITY AND ITS IMPACT ON THE CONCENTRATION OF ALUMINIUM RESIDUAL AND SOLID SUSPENDED TOTAL DOWNLOADS, IN THE METROPOLITAN PUBLIC COMPANY OF WATER SUPPLY AND SANITATION, LOCATED IN THE CANTON OF QUITO, EL TROJE, YEAR-ROUND TREATMENT PLANT 2014"

**AUTHORA:**

Norma Elizabeth Chicaiza Hidalgo

**TUTOR:**

Ing. Jaime Flores Ojeda, M.Sc.

**EXECUTIVE SUMMARY**

This investigation work was made with the objective to find a solution to presented problem in processing plant El Troje after the removed pipelines and downloads in the processing plant, so here was found concentration of residual aluminum and suspended total filling. To resolve this problem was defined as proposed make the desing for the producing plant to polyvinyl of aluminum and taking into account the demand of coagulant sulfate of aluminum and the means and stimate that can be disponible for a future implementation for de design, with these data units is defined as the process can be verified in the flowchart thereof it is important that during the development of the reaction to form PAC, bauxite , hydrochloric acid and water were mixed to obtain the product with the technical specifications of density 1.220 - 1.365 g/ml and a % de aluminum del 13 al 16% according to technical specifications EPMAPS. After performing the respective analysis about economic indicators VAN and TIR design disclosed that the project can be executed. Therefore, it can be concluded that the use of PAC, the concentration of residual aluminum and total suspended solids discharges shall be reduced by Plant El Troje.

**DESCRIPTORS:** Polyvinyl aluminum, alúmina, density, VAN, TIR



## INTRODUCCIÓN

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en que vivimos, se la considera como un solvente universal, desde el punto de vista de salud humana dentro de las propiedades físicas del agua se encuentra la turbiedad que es originada por partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo tierra finamente dividida). La remoción de turbiedad no es un proceso difícil, sin embargo, es uno de los parámetros que más influye en los costos de producción de la potabilización, porque se requiere usar coagulantes (sulfato de aluminio) para su remoción, acondicionadores de pH (carbonato de calcio), ayudantes de coagulación (polímero).

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA donde se define las consecuencias de la remoción de la turbiedad que representa la formulación del problema lo cual sirve de base para la realización de la investigación, la justificación en la que se abordan temas como la importancia de la remoción de la turbiedad y su relación con la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, con la finalidad de proponer la solución a esta problemática, a través del Estudio de la Factibilidad para el Diseño de una Planta Productora de Policloruro de Aluminio (PAC).

CAPÍTULO II MARCO TEORICO en este capítulo se abordan temas como los procesos y mecanismos que rigen la coagulación, así como las propiedades de los coagulantes existentes como el sulfato de aluminio y los alternativos como el PAC, se define claramente las variables tanto dependiente como impediende y su interrelación para posteriormente plantear la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA en este capítulo se trabaja sobre temas como el enfoque, la modalidad y el tipo de investigación sé que ejecutará, así como la técnica que se utilizará en la investigación que es ente caso es la encuesta, igualmente se define el plan de recolección de la información, así como el plan de procesamiento y análisis de las misma.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS el procesamiento de datos y la elaboración de los cuadros estadísticos se los realizó a partir de la información obtenida de la investigación de campo y documental y a través de la técnica de la encuesta aplicada, que da como resultado que el 67% de los encuestados cambiarían de coagulante sulfato de aluminio a PAC; mientras que el 93% dicen que trabajando con PAC generaría menos lodos. La verificación de la hipótesis nula fue mediante la prueba del CHI CUADRADO herramienta que permitió la aceptación de la hipótesis nula de la investigación.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES en este capítulo encontramos las conclusiones y recomendaciones generales de la investigación, como por ejemplo se concluye que se debe cambiar de coagulante sulfato de aluminio a PAC; y se recomienda elaborar un presupuesto para el cuarto trimestre del año 2017 para la implementación de la Planta Productora de Policloruro de Aluminio.

CAPÍTULO VI PROPUESTA en este capítulo se desarrolló la propuesta para el Estudio de la Prefactibilidad para el Diseño de la Planta Productora de Policloruro de Aluminio, desde su justificación, investigación, en planteamiento de objetivos tan general como específicos; el análisis de factibilidad, la fundamentación científico técnica, así como la definición de las variables del proceso, como por ejemplo selección de materias y sus porcentajes , identificación de temperaturas y presiones de reacción, reacciones químicas, etc; también se cuenta con el Plan de acción para la ejecución de la propuesta, la administración de la misma, Plan de monitoreo y evaluación , así como se analiza el impacto de la ejecución de la propuesta, con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

Para finalmente adjuntar la bibliografía y anexos de la investigación para corroborar el trabajo investigado.

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

#### **Tema**

“Estudio de la turbiedad y su incidencia en la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la E. P. Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, ubicada en el cantón Quito, Planta de Tratamiento El Troje, durante el año 2014”

#### **Línea de Investigación**

##### **Empresarialidad y productividad.**

En las políticas y líneas de investigación de la Universidad Tecnológica Indoamérica tenemos:

**Esta línea se orienta por un lado al estudio de la capacidad de emprendimiento o empresarialidad de la región, así como su entorno jurídico-empresarial; es decir, de repotenciación y/o creación de nuevos negocios o industrias que ingresan al mercado con un componente de innovación. Por otro lado, el estudio de las empresas existentes en el mercado, en una región se enmarcará en la productividad de este tipo de empresas, los factores que condicionan su productividad, la gestión de la calidad de las mismas, y que hacen que estas empresas crezcan y sobrevivan en los mercados. En este ámbito es de interés estudiar aspectos como exportaciones diversificación de la producción y afines. (Líneas de investigación UTI, 2011, p. 2).**

El presente estudio tiene el propósito de analizar la remoción de turbiedad a través de la dosificación de sulfato de aluminio y su incidencia en el incremento de la concentración de aluminio residual y de sólidos suspendidos totales en las descargas de las plantas de tratamiento en la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento; de esta manera se propondrá la producción un coagulante alternativo que es el PAC que contribuirá al mejoramiento y cumplimiento del problema planteado; en consecuencia el tema corresponde a la línea de investigación de Empresarialidad y Productividad.

### **Planteamiento del Problema**

La remoción de la turbiedad del agua mediante la dosificación de sulfato de aluminio en el proceso de potabilización en las plantas de tratamiento de agua potable, tiene incidencia en la presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de las plantas de tratamiento, esto se produce a nivel mundial, latinoamericano y en Ecuador. En todas las provincias del país, principalmente en la ciudad de Quito, analizaremos esta problemática; particularmente en la planta de tratamiento El Troje, en donde el proceso de dosificación de sulfato de aluminio no ha sido analizado y evaluado cada dos años como recomienda el **CEPIS/OPS** (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Organización Panamericana de la Salud).

### **Contextualización**

#### **Macro.**

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en que vivimos, se la considera como un solvente universal, desde el punto de vista de salud humana, el agua ayuda a eliminar las sustancias resultantes de los procesos bioquímicos que se desarrollan en el organismo humano. La vida sin agua es imposible, por lo que hemos empleado los conocimientos tecnológicos para determinar cómo purificar el agua y hacerla apta para el consumo.

El acceso a agua potable en América Latina es insuficiente y además su calidad es inadecuada, esto ocasiona impactos negativos en la salud pública. La capacidad financiera limitada de los organismos encargados de proveer estos servicios y la institucionalidad débil del sector que son factores que limitan las posibilidades de mejorar el acceso y la calidad de agua potable en el continente. El acceso a agua potable en América Latina todavía es insuficiente, además, se puede observar diferencias grandes de cobertura dentro de muchos países. Según el programa conjunto de monitoreo de agua de la OMS y de UNICEF, en 2004 el porcentaje de la población que tenía acceso a una fuente mejorada de agua variaba entre el 54% en Haití y el 100% en Uruguay. En total, 50 millones de personas o el 9% de la población de América Latina y el Caribe no tenía acceso a una fuente mejorada de agua, esto ocurre en países tales como Perú, Venezuela, Brasil, México, Colombia, Argentina, Uruguay (World Health Organization, WHO/UNICEF, 2006).

**Los efectos sobre los productos químicos en la salud, son algunos de ellos adversos a los organismos vivos a ellos expuestos, sobretodo el Aluminio. El aluminio está presente de modo natural en casi todos los alimentos, la ingesta media en la dieta está alrededor de 20 mg/día. Las sales de aluminio son ampliamente utilizadas en antitranspirantes, sopas, cosmética y aditivos de la alimentación. (Reiber y Kukull, 1996).**

Reiber y Kukull (1996) manifiestan:

“El aluminio es común tanto en las aguas contaminadas como en las tratadas, especialmente en las tratadas con alúmina. Se estima que en el agua potable representa únicamente solo una pequeña parte de la ingesta total de aluminio” (s/p).

El aluminio se incluyó en la lista original de 83 contaminantes para ser regulado bajo enmiendas SDWA de 1986 de la USEPA, remocionando el aluminio de la lista porque se llegó a la conclusión en esa época no se conocía que el aluminio ingerido en el agua potable era un riesgo para la salud (Agencia de

Protección del Medio Ambiente, Estados Unidos 1988 b). La USEPA tiene un nivel máximo de contaminante secundario (SMCL), de 50 a 200 ug/l para asegurar la remoción del material coagulado antes de que el agua tratada entre en el sistema de distribución.

**Meso.**

En Ecuador, la cobertura de agua potable y saneamiento se ha incrementado en los últimos años; pero existen bajos niveles de cobertura, especialmente en área rurales; pobre calidad, eficiencia del servicio; y una limitada recuperación de costos y un alto nivel de dependencia en las transferencias financieras de los gobiernos nacionales y municipales.

**Cuadro N° 1: Porcentajes de cobertura de agua potable a nivel urbano y rural**

		<b>Urbano (62% de la población)</b>	<b>Rural (38% de la población)</b>	<b>Total</b>
<b>Agua</b>	Definición amplia	97%	88%	94%
	Conexiones domiciliarias	96%	74%	88%

**Fuente:** Programa de Monitoreo Conjunto OMS/UNICEF para agua potable y saneamiento (Joint Monitoring Program for Water and Sanitation 2010). Datos de agua y saneamiento basados en la extrapolación de varios datos de encuestas nacionales incluyendo la encuesta demográfica y de salud materna infantil de 2004.

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

El programa de Monitoreo Conjunto OMS/UNICEF para agua potable y saneamiento (Joint Monitoring Program for Water and Sanitation/2010). Datos de agua y saneamiento basados en la extrapolación de varios datos de encuestas nacionales incluyendo la encuesta demográfica y de salud materna infantil indica: En el año 2010, el porcentaje de la cobertura del abastecimiento de agua (conexiones domésticas) era del 96% en las zonas urbanas y 74% en rurales. La cobertura de los servicios de agua tiende a ser menor en la Costa y en el Oriente

que en la Sierra. Además, la cobertura del abastecimiento de agua muestra amplias variaciones según el ingreso, alcanzando aproximadamente el 90% en los primeros tres deciles de ingreso en las zonas urbanas, comparados con niveles de sólo un 60% en los últimos tres deciles de ingreso.

### **Micro.**

Como ya se ha venido mencionando durante el desarrollo de este trabajo existen muchos factores que intervienen dentro de la problemática de la remoción de la turbiedad del agua en las plantas de tratamiento tales como: calidad del agua cruda en función de las fuentes de alimentación (presencia de contaminantes como materia orgánica que incrementa el color), influencia de las estaciones climáticas como verano e invierno; calidad de los productos químicos utilizados durante el proceso de coagulación, puntos de aplicación de químicos, gradientes de velocidad, dosis de coagulante definida como óptima en laboratorio para aplicar en planta, eficiencia del lavado de filtros, descargas líquidas con concentraciones de aluminio residual mayores a 5 mg/L superando el límite máximo permisible para aguas de descargas..

Todos estos aspectos generales identificados se evidencian en el análisis de los datos de las tablas del Anexo N° 1 que son puntuales y corresponden a la Planta de Tratamiento El Troje, en los que encontramos la presencia de altas turbiedades 28,50 NTU y consecuentemente la aplicación y consumo de dosis altas de coagulante sulfato de aluminio 100 mg/L, cuando en épocas de verano se trata el agua con dosis de 50 hasta 60 mg/L. Al ser el consumo alto de sulfato se generan grandes cantidades de lodos que serán eliminados en las descargas líquidas y esto trae como consecuencia inmediata el incremento de la concentración de aluminio residual y solidos suspendidos totales en las descargas.

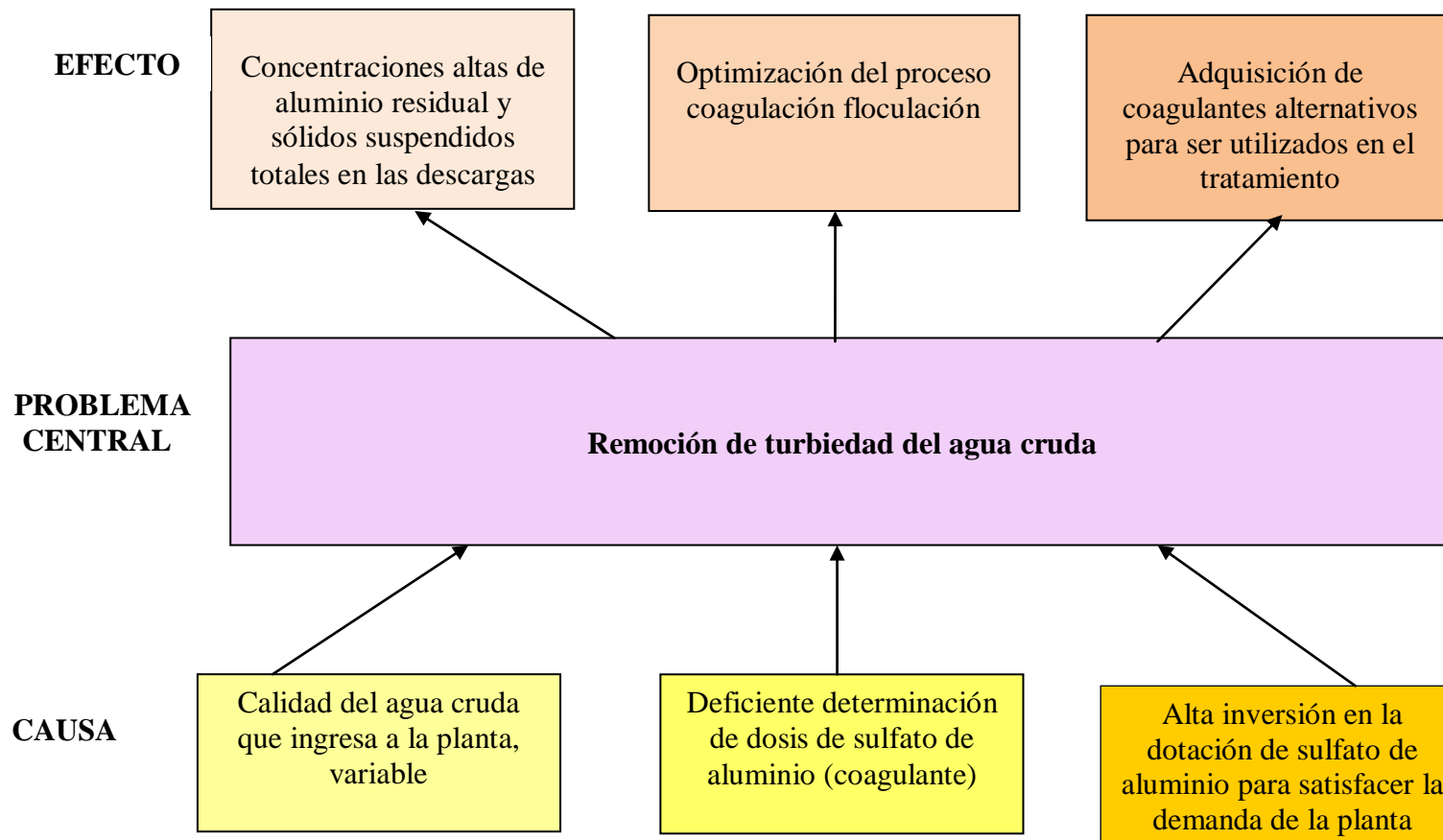


Gráfico No. 1: Relación causa – efecto (Árbol de problemas)

Fuente: Investigación.

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo



## **Análisis Crítico**

A través del encadenamiento causa y efecto, se ordenan los problemas principales permitiendo identificar el conjunto de problemas sobre el cual se concentrarán los objetivos del proyecto, la clarificación del problema permite mejorar el diseño, efectuar el monitoreo de los supuestos del proyecto durante su ejecución, cuando se termina esta tarea facilita el trabajo del evaluador que determinará si los problemas se han resuelto o no.

Tres partes son esenciales en un Árbol de Problemas: el problema central (tronco del árbol), las causas (raíces del árbol), y efectos (ramas del árbol).

Para el problema Remoción de turbiedad del agua cruda, que constituye la variable dependiente de este trabajo, se han analizado las siguientes causas:

Calidad del agua cruda que ingresa a la Planta el Troje es variable, y se encuentra en función de las características físico químicas de la misma; para su tratamiento se dosifican dosis de químicos como el coagulante, floculante; y para optimizar el proceso de remoción de turbiedad (Variable Independiente), se incrementan las dosis de los mismos, con lo cual en las descargas de los lavados de las unidades de la Planta se hace presente un incremento de las concentraciones tanto de aluminio residual como de sólidos suspendidos totales que constituyen la Variable Dependiente.

La determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (coagulante) para la remoción de turbiedad en el proceso de potabilización es primordial si esta es deficiente trae como consecuencia la sobre saturación de las unidades con sulfato de aluminio y lodos por lo tanto es importante la optimización del proceso de coagulación floculación.

Durante el año 2014 el control limitado del proceso de coagulación floculación por una crisis administrativa de la EPMAPS ocasiona que se agudice mucho más las consecuencias de una pobre coagulación floculación lo cual conlleva a una alta

inversión en la dotación de sulfato de aluminio para satisfacer la demanda de la planta, con la finalidad de dar solución a esta problemática se investigará a cerca del uso coagulantes alternativos que puedan ser utilizados en el tratamiento.

### **Prognosis.**

Una vez identificado que el proceso de coagulación es fundamental dentro de la potabilización, no solo para obtener como producto agua para consumo humano; sino también en la calidad de los lodos y descargas generados durante el mismo, queda claro que si no se da un seguimiento al problema y sus consecuentes soluciones tales como: buscar alternativas de otros coagulantes cuyas características permitan ejercer la remoción de la turbiedad sin que sea necesario la aplicación de altas dosis y la generación de lodos del proceso sea menor, optimizar tiempos y puntos de aplicación de químicos, ajustar gradientes de velocidad, se puede llegar a incurrir incumplimientos de normativa ambiental legal.

A lo anteriormente mencionado añadido que las entidades de seguimiento Ambiental realizan los seguimientos correspondientes en cuanto a las caracterizaciones de las descargas de las plantas de tratamiento, en cualquier momento por lo que se podría incurrir en inobservancias de los límites máximos permisibles en las descargas con lo cual pueden presentarse consecuencias tales como sanciones económicas, e incluso el levantamiento de la Certificación Ambiental.

### **Formulación del Problema**

#### **Interrogantes de la investigación**

¿La remoción de turbiedad, mediante la aplicación de altas dosis de sulfato de aluminio constituye la principal causa para que se dé el incremento de la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la empresa EPMAPS, ubicada en el cantón Quito, ¿Provincia de Pichincha,

Gerencia de Operaciones, Departamento de Producción, Planta de Tratamiento El Troje, ¿durante el año 2014?

Para fundamentar este problema, en función de la dosis de coagulante utilizado, se evidencia un pobre proceso de sedimentación y a su vez se solubiliza el aluminio ocasionando problemas de altas variaciones de turbiedad, pH, alcalinidad, dureza y aluminio residual en el agua sedimentada, que luego pasa al proceso de filtración y será eliminado en los lodos en el proceso de lavado de filtros en las descargas de la planta.

Pero este no es el único inconveniente, los lodos de las descargas a más de contener aluminio residual también poseen un alto contenido de sólidos suspendidos totales.

Ya definido que la coagulación es fundamental dentro de la potabilización para obtener agua de calidad para consumo humano, también es importante trabajar sobre la calidad de los lodos y descargas generados durante el mismo, queda claro que se debe dar el seguimiento al problema y sus consecuentes soluciones, que una de ellas es buscar alternativas de uso de otros coagulantes cuyas características permitan realizar la remoción de la turbiedad sin que sea necesario la aplicación de altas dosis y la generación de lodos del proceso sea menor.

### **Delimitación de la Investigación**

**Campo:** Gestión en Proyectos Socio Productivos.

**Área:** Diseño de Proyectos Socio Productivos.

**Aspecto:** La optimización del proceso de coagulación al aplicar dosis óptima de coagulante permitirá una remoción de turbiedad eficaz, eficiente y a su vez que contribuirá al control y disminución de la concentración de aluminio residual y sólidos totales suspendidos en las descargas de la Planta de tratamiento.

### **Delimitación Espacial.**

La investigación se realizará en la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, ubicada en el cantón Quito, Provincia de Pichincha, Gerencia de Operaciones, Departamento de Producción, en la Planta de Tratamiento El Troje, barrio Músculos y Rieles, extensión de la nueva vía Simón Bolívar, RUC 1768154260001.

### **Delimitación Temporal.**

La problemática de la remoción de turbiedad, utilizando sulfato de aluminio como coagulante y su consecuente influencia en la presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en los lodos de las descargas de la planta es constante y se incrementa en función de la calidad del agua cruda que ingresa a la planta y de los períodos estacionales (invierno, verano).

La información con la que actualmente se cuenta es la correspondiente al año 2014, el estudio para plantear la solución a esta problemática está planificado hasta diciembre del año 2016.

### **Unidades de Observación.**

La información necesaria para el desarrollo de la investigación, será obtenida a partir de la base de datos del Control Diario de la Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento El Troje, así como también de los informes mensuales en los que consta la demanda y el consumo de químicos (sulfato de aluminio); también se requiere de los informes de los controles ambientales realizados a las descargas de la Planta en el año 2014.

### **Justificación**

El proceso de coagulación floculación es muy sensible a variables como: la naturaleza de la turbiedad, tipo y dosis del coagulante, p H del agua, composición

química del agua cruda y condiciones de mezclado. De estas las que se puede controlar son tipo y dosis de coagulante y condiciones de mezclado, así demostrando su importancia dentro del proceso de potabilización.

La remoción de los compuestos inorgánicos insolubles del agua, se realiza agregando el coagulante adecuado para convertir las impurezas solubles en precipitados insolubles que pasarán al proceso de floculación y quedarán removidos por la sedimentación. Para obtener un tratamiento eficiente es necesario agregar la dosis óptima de coagulante-floculante en el caso de requerirse, estos procesos tienen como característica la generación de lodos que serán eliminados en las descargas líquidas de las plantas de tratamiento.

El reducir y mitigar el impacto ambiental generado por las actividades y servicios prestados por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS es parte de su política, por tal motivo, el control de las descargas generadas por las plantas de tratamiento es primordial, con la finalidad de mantener las mismas dentro de los límites máximos permisibles vigentes.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar la remoción de la turbiedad del agua mediante la dosificación del coagulante sulfato de aluminio y su repercusión en la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, ubicada en el cantón Quito, Provincia de Pichincha, Gerencia de Operaciones, Departamento de Producción Planta de Tratamiento El Troje, durante el año 2014.

### **Objetivo Específico**

1. Monitorear la remoción de la turbiedad del agua en el proceso de coagulación y determinar dosificaciones óptimas.

2. Identificar parámetros que evidencien la concentración de aluminio residual y sólido suspendidos totales en las descargas.
  
3. Determinar la prefactibilidad del diseño de una Planta Productora de Policloruro de Aluminio, cuyo producto (PAC) permita disminuir la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TERÓRICO**

#### **Antecedentes Investigativos**

##### **Coagulación.**

El proceso de coagulación química es el método más eficiente para la remoción de impurezas del agua superficial. Estas impurezas son formadas por pequeñas partículas de diferentes tamaños. Se debe mencionar que la calidad del agua cruda varía al usar fuentes de agua superficial. Normalmente la calidad es mucho mejor cuando hay poca lluvia y suficiente cantidad de agua disponible en la fuente.

Cuando el nivel del agua en un río es muy bajo, el agua puede mezclarse con lodo o contaminación. Durante lluvias fuertes tanto la turbiedad como el color del agua incrementan muy rápidamente. Lo mismo sucede cuando la nieve se descongela después del invierno en países con un clima más frío. Independientemente de las muy variadas condiciones del agua cruda, las plantas de tratamiento de agua potable tienen que estar operando, y suministrando sin interrupción un agua limpia, segura y de buen sabor para la población.

La coagulación tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas en partículas que puedan ser removidas por la decantación (sedimentación) y la filtración. Tales aglomerados gelatinosos se agrupan y producen los flóculos (floculación).

Yolanda Andia (2000), en su trabajo afirma:

“El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles, entre estas últimas están los coloides, sustancias húmicas, fúlvicas y los microorganismos. La carga superficial de las partículas coloidales es negativa, lo cual impide que estas se aproximen unas a otras, por lo tanto, hay que romper esta estabilidad de las partículas para lo cual interviene el proceso de coagulación” (p.5).

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro, este proceso es el resultado de dos fenómenos:

1. El primero esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante, en este caso sulfato de aluminio.
2. El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de las especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

Este proceso es muy rápido, desde décimas de segundo hasta de 100 segundos, se efectúa en la denominada mezcla rápida en la cual se ponen en contacto el agua cruda con el coagulante sulfato de aluminio. Luego de esto sigue la mezcla lenta.

En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos, los mismo que serán removido en los procesos de sedimentación, filtración.



### **Factores que influyen en la coagulación.**

1. Tipo de coagulante: de aluminio, hierro o alternativo PAC
2. Cantidad de coagulante. la dosis óptima de un coagulante, se determina a través de la ejecución de una prueba de jarras, tiene influencia directa en su determinación la calidad del agua cruda que está alimentando a la planta de tratamiento, el objetivo de elegir esta dosis es con la finalidad de evitar sobre dosificaciones, remover la turbiedad, tener un proceso de sedimentación eficaz y por ende un proceso de filtración más prolongando antes de cada lavado de filtros, optimizando recurso económicos, humanos; además que esto influye directamente en el cumplimiento legal de las descargas de los efluentes en cuanto a la concentración de aluminio residual.

### **Sustancias químicas utilizadas.**

Las sustancias químicas utilizadas en la coagulación pueden ser:

Coagulantes: compuestos de aluminio o de fierro que generalmente pueden producir hidróxidos gelatinosos no solubles y absorber las impurezas. Dentro de las propiedades de los coagulantes se mencionan a las principales:

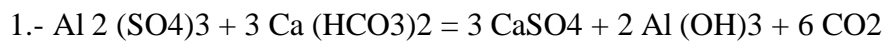
1. Estos reaccionan con los álcalis para producir hidróxidos gelatinosos que contienen y absorben impurezas. Esta propiedad es más adecuada para la remoción de la turbidez.
2. Producen iones trivalentes de cargas eléctricas positivas, que atraen y neutralizan las cargas eléctricas de los coloides protegidos que, por lo general, son negativas. Esta propiedad es más adecuada para la remoción del color.

### **Sulfato de aluminio.**

Este puede estar en forma líquida o sólida, la fórmula teórica es  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ , para el sulfato de aluminio líquido su concentración está dado por el contenido de alúmina expresada como  $Al_2O_3$  y este es aproximadamente del 8 – 8,5 %.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico) por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas, su p H varía entre 2 y 3,8 según la relación molar sulfato /alúmina.

Principal reacción del sulfato de aluminio con la alcalinidad del agua:



Cuando se agrega sulfato de aluminio o sales de hierro al agua en condiciones de pH, se forman una serie de especies solubles hidrolizadas como  $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Al(OH)_4^-$ ,  $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ , y estas especies hidrolizadas son las responsables de la remoción de la turbiedad del agua, esto es lo que esquematiza la reacción 1.

### **Coagulantes Alternativos.**

En los últimos 25 años se ha desarrollado una nueva generación de coagulantes inorgánicos, polimerizados tales como PAC's, cuyo comportamiento es diferente a los coagulantes convencionales, debido a sus características de especiación química.

Los flóculos de los PAC's tienden a ser grupos de pequeñas esferas y/o estructuras tipo cadena con tamaño menor a 25  $\mu m$ , mientras que usualmente los flóculos de sulfato de aluminio son estructuras esponjosas y porosas con tamaño

de 25 a 100 mm, estas diferencias estructurales hacen que los PAC's produzcan una menor turbiedad en suspensión que el sulfato de aluminio.

Policloruro de aluminio es un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas, es ampliamente utilizado para remover color y materia coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras, clarificación de efluentes industriales y como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y otras sales inorgánicas convencionales no polimerizadas.

El PAC, contiene una gama de especies hidrolíticas de la  $Al^{3+}$  preformadas de calidad superior y poseen una estructura estable ante hidrólisis posteriores lo que contribuye a una mayor eficiencia de coagulación, por lo que se lo considera más eficiente que el sulfato de aluminio.

**El propósito de este proyecto de investigación, es obtener el policloruro de aluminio, para la potabilización de aguas, permitiendo un buen desempeño sin afectar la calidad del agua tratada a costos razonables. Justificamos nuestra investigación, ya que el PAC es importado a un precio alto lo que lo hace inaccesible para las plantas Municipales pequeñas en el Ecuador (Jazmín Mendoza, 2012).**

Igualmente, con la finalidad de investigar a cerca de la fabricación y uso del policloruro de aluminio de reporta el resumen del estudio realizado en el Estado de Carabobo en Venezuela.

**El objetivo de este estudio fue la implementación del coagulante policloruro de aluminio en conjunto con sulfato de aluminio líquido para mejorar el proceso de potabilización de agua y así cumplir con la normativa vigente. Se diagnosticó el proceso actual, y se determinaron los parámetros físico-químicos (aluminio residual, turbidez, tipo y tiempo de formación de flóculo y resuspensión) del agua cruda sedimentada, tratada (Carlos Alavarado, 2015)**

### Características del policloruro de aluminio.

Las propiedades físicas y químicas del Policloruro de Aluminio, pueden variar significativamente. Este producto se encuentra en solución acuosa, cuyo rango de color varía desde incoloro a ámbar y de apariencia clara a turbia, completamente soluble en agua.

Cuadro N° 2: Características físicos químicas del Policloruro de Aluminio

Parámetro	Policloruro de Aluminio
Formula	$Al_2(OH)_3Cl / Al_n(OH)_mCl(3_n)$
Alúmina ( $Al_2O_3$ ) %P	13-16
Densidad, 20°C	1,220 – 1,365 Kg/L
Basicidad, 2°C	10 – 70 %
Punto de cristalización 0°C	-1,38 Kg/L

**Fuente:** Vademécum Institucional de la EPMAPS/Gestión por procesos

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Es un líquido estable en condiciones normales de uso y almacenamiento, es decir, a temperatura ambiente, presión atmosférica, medio acuoso con un pH inferior a 5, almacenado en recipientes plásticos, cerrados y bajo sombra.

Es ampliamente usado como coagulante primario en sistemas de potabilización de aguas superficiales o profundas, tratamiento de aguas residuales, industria metal mecánica, derivados lácteos, cabinas de pintura, industria del aceite vegetal, entre muchos otros.

En estos procesos contribuye a la remoción de sólidos suspendidos, color, turbidez y algunos otros contaminantes tales como partículas orgánicas.

El policloruro de aluminio desestabiliza los microorganismos y las partículas coloidales, permitiendo que estas se junten entre sí, formando coágulos que posteriormente se aglomeran conformando flóculos de mayor tamaño enviándolos

hacia el fondo del tanque por efecto de la gravedad. Su formación depende de una gran variedad de condiciones como el pH, tipo de mezcla, el período de sedimentación y la circulación del lodo, entre otras.

En la industria papelera, por su alta densidad de carga, tiene el potencial de incrementar la eficiencia de los procesos de encolado, retención y drenado.

### **Ventajas del policloruro de aluminio versus el sulfato de aluminio.**

Entre las más grandes ventajas del PAC, frente al sulfato de aluminio tenemos la menor generación de lodos y menor dependencia de la temperatura y el pH. Sin embargo, su eficiencia se ve afectada por las características de las aguas crudas y las condiciones de operación específicas.

**Cuadro N° 3: Comparación del comportamiento de coagulante Sulfato y Policloruro de Aluminio**

<b>CRITERIO</b>	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<b>PAC</b>
<b>Temperatura</b>	La temperatura afecta la hidrólisis y por ende la producción de complejos hidroxílicos, positivamente esenciales para la coagulación.	Menor efecto de la temperatura por la presencia de formas de aluminio prepolimerizados.
<b>pH</b>	El rango de pH controla cual especie de hidroxilo de aluminio se produce.	Se espera menor impacto del pH por la presencia de formas de aluminio prepolimerizados.
<b>Especies de aluminio</b>	La mayoría de especies de aluminio son complejos hidroxilo monomérico con una carga catiónica de 1 a 3+.	Presencia de formas de aluminio monoméricas y poliméricas.
<b>Cinética</b>	Más lenta	Más rápida

**Fuente:** Arboleda, J. (1961-1971).

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Adicionalmente podemos mencionar otras propiedades del PAC.

- Genera un menor residual de aluminio
- Mejora la velocidad de formación de flocs.
- Mejor remoción de color y turbiedad.
- Genera mayor velocidad de sedimentación.
- Requiere de menores tiempos de mezclado para coagular.
- Incrementa la remoción de carbono orgánico total.
- Optimiza en la eficiencia del proceso de filtración (carreras de filtración).
- Reducción de la frecuencia de retrolavados en los filtros.
- Reducción de lodos del proceso de un 25-75%, menor dependencia del pH y de la temperatura.
- Trabaja en un amplio rango de pH.
- Menor costo de operación.

## **Fundamentaciones**

### **Fundamentación Filosófica**

La actividad productora del hombre, no se puede concebir sin su interacción con la naturaleza y entre los propios hombres. Al analizar la influencia que sobre el medio ambiente han tenido estas relaciones, hasta llegar a la actual crisis ambiental, se enfatiza en la necesidad de lograr la conciencia ecológica en aras de resolver la problemática en la cual estamos inmersos todos.

Los nuevos paradigmas de la producción, que introdujeron los japoneses fueron:

Elimine pasos y adopte un proceso más fluido (análisis de valor agregado).  
Mida la productividad según las horas totales y el gasto total en que haya incurrido, no por la eficiencia o la utilización (Activity Based Cost).

Es mejor coordinar los cerebros, los supervisores deben utilizar toda la inteligencia disponible para que ellos y los trabajadores en conjunto puedan resolver los problemas (Trabajo en Equipo / Empowerment).

Estos principios han llevado, fundamentalmente, de una cultura centrada en la empresa a una cultura centrada en el cliente (relaciónelo con el libro “La empresa consagrada al Cliente, de R. Whiteley, existente en esta biblioteca). La Calidad también tiene como requerimiento “hacer las cosas mañana mejor que hoy”.

Revisando todo lo expuesto podemos sintetizar las ideas en:

- Nuestras percepciones del mundo están muy influenciadas por paradigmas.

- Quienes deciden cambiar hacia un nuevo paradigma deben hacerlo con confianza en su fe hacia las nuevas reglas, más que un resultado de una verdadera comprobación.

Joel Arthur Barker (1998) afirma como conclusión:

“En tiempos turbulentos resulta más ventajoso desarrollar y practicar la flexibilidad del paradigma” (p.20).

Esta afirmación involucra a todos, desde la más pequeña pyme o el profesional independiente, hasta las megas empresas. Incluye, también, a la vida personal, donde también estamos sujetos a los límites de los paradigmas vigentes.

La investigación a realizarse se encuentra enfocada en dar cumplimiento a la visión de la EPMAPS que es “proveer servicios de agua potable y saneamiento con eficiencia y responsabilidad social”; por lo tanto luego de la culminación de la investigación servirá para optimizar el proceso de coagulación en las plantas de tratamiento de agua potable de la EPMAPS y consecuentemente se contribuirá con el cumplimiento legal de la normativa establecida para la concentración de aluminio residual presente en las descargas líquidas de las plantas.

### **Fundamentación Legal.**

#### **Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: Recurso Agua (Libro VI, ANEXO1)**

**La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige todo el territorio nacional.**

**La presente norma técnica determina o establece:**

**Los límites permisibles ;disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;**

**Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,  
Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.**



**La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua. Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma. (Internet, 2015, p. 325-326).**

**Cuadro N° 4: Límites de descargas al alcantarillado público**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Aceites y Grasas	Solubles en hexano	mg/l	70
Aluminio	Al	mg/l	5
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	220
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro (total)	CN <sup>-</sup>	mg/l	1
Cloro activo	Cl	mg/l	05
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	220

**Fuente:** Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1 (2015-20-13)

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

### Organizador Lógico de Variables.

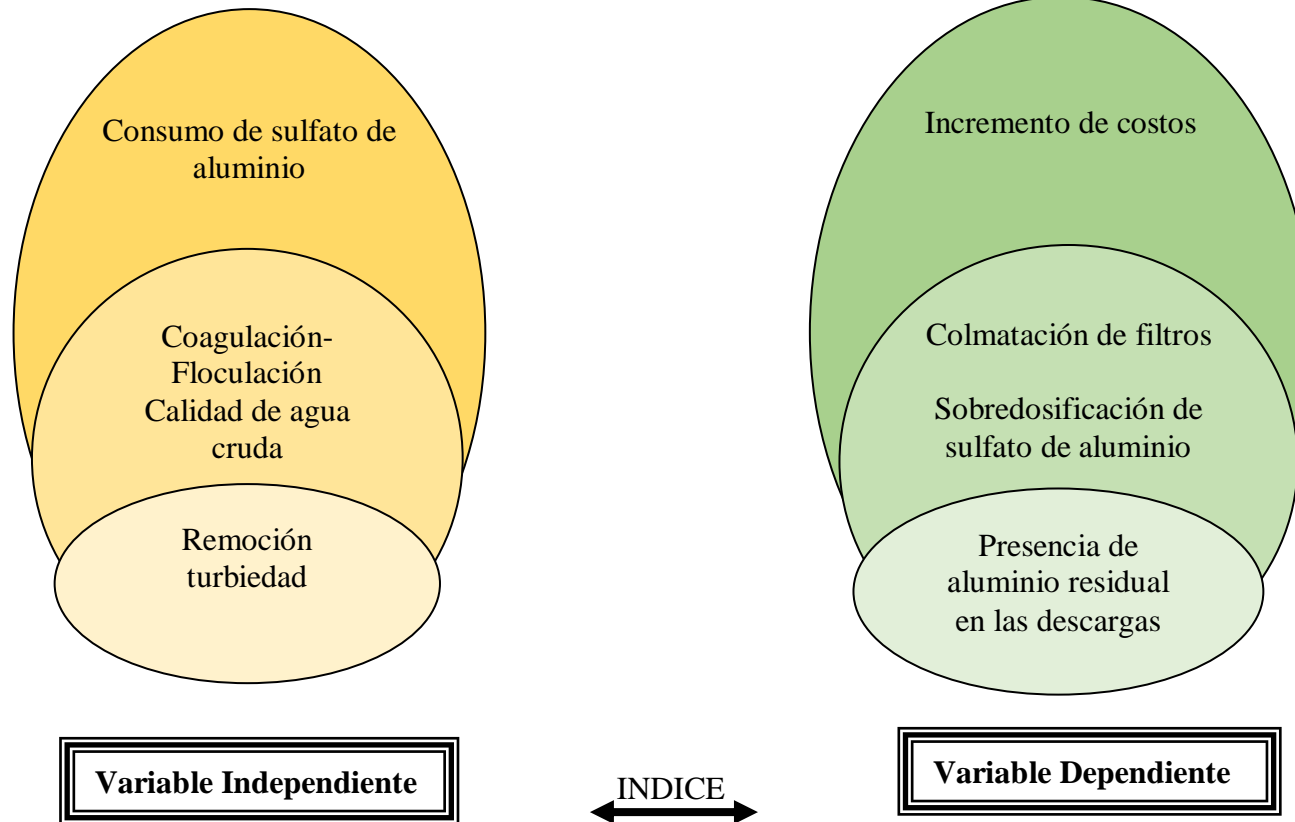


Gráfico No. 2: Categorías Fundamentales

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

### Constelación de Ideas de la Variable Independiente

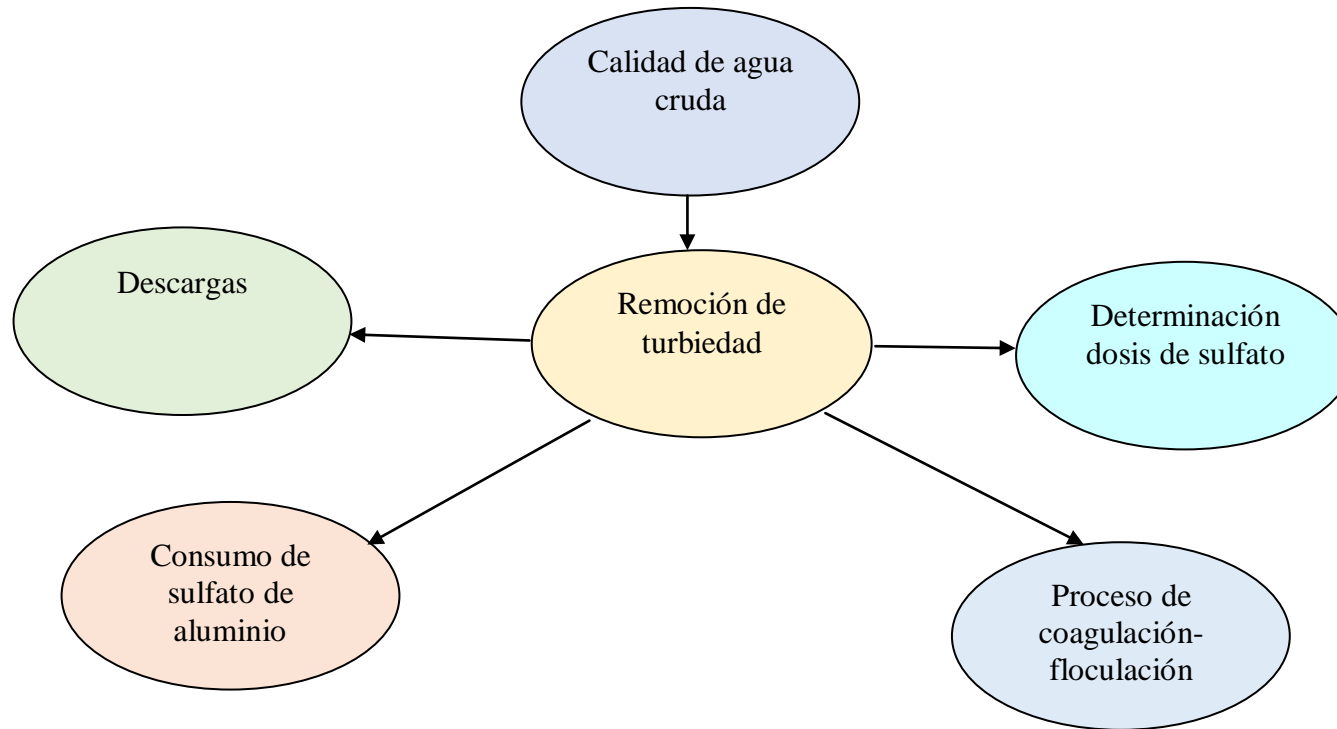
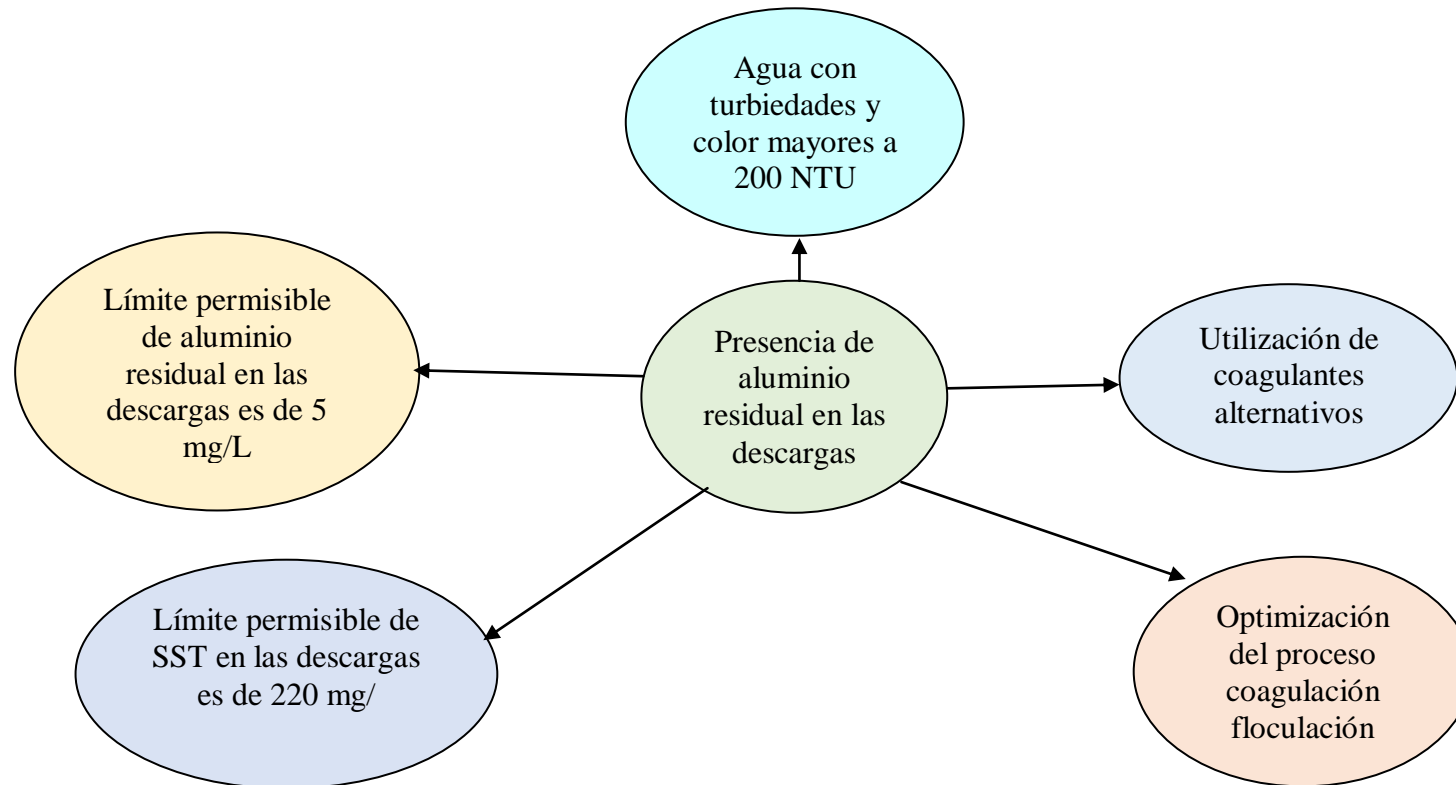


Gráfico No. 3: Constelación de Ideas de la remoción de turbiedad

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

**Constelación de Ideas de la Variable dependiente.**



**Gráfico No. 4: Constelación de Ideas de aluminio residual en las descargas**

**Fuente:** Investigación.

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

## **Desarrollo de las categorías fundamentales de la Variable Independiente**

Jaqueline Mejía (2010) afirma:

“La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales, es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidos y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado” (p 32).

Aún que no se conocen efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta a la calidad estética del agua, lo que podría ocasionar el rechazo de los consumidores.

Yolanda Andia (2000) señala en su trabajo:

“Poca cantidad de coagulante no neutraliza la totalmente la carga de las partículas, la formación de flóculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada” (p 17).

En función de lo expuesto por estos autores, la remoción de la turbiedad tiene incidencia tanto en la calidad del agua tratada obtenida dentro del proceso de potabilización, como también en la calidad de los lodos removidos durante el lavado de las unidades de sedimentación y filtración de la planta.

## **Desarrollo de las categorías fundamentales de la Variable Dependiente**

Rosalía Valentina Moscoso (2014) afirma:

“Actualmente varias Organizaciones Internacionales que se dedican a velar por el bienestar de la población, señalan que el Sulfato de aluminio, coagulante utilizado de manera generalizada puede causar impacto en el equilibrio de los ecosistemas, sugiriendo limitar su uso (OMS 2006)” (p 18).

Los lodos producidos en el proceso de potabilización, están formados en primera instancia por sustancias inorgánicas como arcillas, arenas finas o limos, en una planta de tratamiento de agua potable, se agregan coagulantes y otros reactivos que harán que estos lodos contengan, además de sustancias inorgánicas otros subproductos como el aluminio residual y los sólidos suspendidos totales.

**Dado que en la Planta de Tratamiento Villa Santana no se maneja una dosis óptima de coagulante en el tratamiento de agua, en ocasiones hace que se utilice más coagulante del necesario provocando tanto una sobredosificación en el agua como también una pérdida económica, pero entre otras al dosificar menos de lo necesario no se obtiene un buen proceso de coagulación y parámetros físicos como el color y la turbiedad no son removidos adecuadamente. (Determinación de la dosis óptima 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 Villa Santana, 2012, p. 1).**

Si no se maneja una dosis óptima de coagulante, se puede sobre dosificar el agua durante el proceso de coagulación; conllevando a producir elevadas concentraciones de aluminio residual en el agua en proceso y consecuentemente en las descargas de los procesos de sedimentación y filtración a lo cual le podemos añadir la presencia de sólidos suspendidos totales. Quedando así demostrado la relación existente entre la remoción de la turbiedad del agua y la presencia de aluminio y sólidos suspendidos totales en los lodos producto de las descargas del proceso de sedimentación filtración.

### **Hipótesis**

La remoción de turbiedad mediante la dosificación de dosis altas de sulfato de aluminio conlleva al incremento de la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la E. P. Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, ubicada en el cantón Quito, Provincia de Pichincha, Gerencia de Operaciones, Departamento de Producción, Planta de Tratamiento El Troje.

- Se ha definido claramente la relación existente entre la dosificación de sulfato de aluminio aplicada en planta para la remoción de turbiedad y su consecuente influencia en la concentración de aluminio residual en las descargas de la planta; es decir si no hay una aplicación de dosis óptima se tendrá como consecuencia el incremento de aluminio residual en las descargas.
- En esta investigación se profundizarán en temas tales como dosis óptima de sulfato de aluminio aplicadas en el caudal de proceso, calidad del agua cruda y la respectiva concentración de aluminio residual en las descargas de la planta durante el proceso de lavado de filtros.
- Para la solución de este problema se plantea el diseño de una planta de policloruro de aluminio (PAC) para que sea utilizado como coagulante.

### **Señalamiento de variables**

Variable Independiente: Remoción de turbiedad.

Variable Dependiente: Aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **Enfoque de la investigación**

El enfoque de esta investigación es: cuantitativo pues se parte de datos tabulados cuyos valores forman parte del histórico de la planta y permiten: analizar las oportunidades de mejora para optimizar el proceso de coagulación (en este caso la dosificación de químicos) y sus respectivas consecuencias en la presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas del proceso.

#### **Modalidad de la investigación**

En este trabajo se viene utilizando una investigación de campo y documental, en cuya primera fase se realizó un análisis del problema que se viene presentando al dosificar cantidades elevadas de coagulante en la planta de tratamiento El Troje principalmente en cuanto se refiere al incremento de la concentración de la aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de la planta.

Segunda fase se ha realizado la revisión bibliográfica sobre las diferentes alternativas que se pueden utilizar para optimizar el proceso de coagulación y dar solución al problema de incremento de concentraciones de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas.



En una tercera fase se realizó una entrevista con el administrador de la información para obtener una muestra de su base de datos para el correspondiente análisis.

### **Tipos o niveles de la investigación**

#### **Asociación de variables.**

En este trabajo se viene utilizando una investigación en la que se mide de forma independiente el efecto que produce la remoción de la turbiedad con la presencia del aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de la Planta, y en función de este análisis plantear la propuesta de solución.

#### **Población.**

Se define una población finita de 15 personas, debido que es el personal técnico del Departamento de Producción quienes con su criterio y experiencia en el trabajo pueden contribuir a la solución de la problemática en estudio. Utilizando un muestreo aleatorio de juicio con la finalidad de trabajar con datos cuyo análisis contribuirán a la solución del problema. Por lo tanto, al ser una población finita y manejable no se calcula la muestra estadística.

## Operacionalización de variables

**Variable Independiente:** Remoción de turbiedad.

**Cuadro N° 5: Operacionalización de Variable Independiente**

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.
La turbiedad es la falta de transparencia en el agua, debido a la presencia de partículas en suspensión, nos da información acerca del grado de contaminación del agua, pero no es evidencia de la presencia de ningún contaminante en concreto.	En función de la calidad de agua cruda que ingresa a planta. Determinación de dosis óptima de sulfato.	El parámetro indicador para encontrar la dosis óptima de coagulante es del análisis de turbiedad del agua.	¿Cuál de los siguientes criterios usted utilizaría para seleccionar un coagulante? De su experiencia considera usted que el policloruro de aluminio, dentro del proceso de remoción de turbiedad, genera más o menos lodos que el sulfato de aluminio. Marque con un visto.	Se utilizarán los datos que se registran en la base de Control Diario del Laboratorio de la Planta de Tratamiento El Troje durante el año 2014, así como también los datos provenientes de los informes obtenidos durante el monitoreo de las descargas de la Planta de Tratamiento durante el año 2014. La técnica de recolección empleada en la investigación es la Encuesta.
Según la OMS, la turbiedad del agua de consumo humano no debe superar los 5 NTU y estará idealmente por debajo del 1 NTU	Consumo de sulfato. Proceso de coagulación floculación.			

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

**Variable Dependiente:** Presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas.

**Cuadro N° 6: Operacionalización de Variable Dependiente**

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>El proceso de coagulación es fundamental dentro de la potabilización del agua, por lo tanto, la elección del coagulante y su dosis de aplicación está en función de las características físicas químicas del agua cruda. La sobredosificación de la dosis de coagulante incide en la presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas.</p> <p>La presencia de aluminio residual en concentraciones mayores de 0,1 a 0,2 mg/L, suele ocasionar la precipitación de flóculos de hidróxido de aluminio que serán descargados a la red de distribución y en las descargas de la planta.</p>	<p>Agua con turbiedad mayor a 200 NTU.</p> <p>Optimización del proceso de coagulación floculación.</p> <p>Utilización de coagulantes alternativos.</p> <p>Límite permisible de aluminio residual en las descargas 5 mg/l.</p> <p>Límite permisible de SST en las descargas 220 mg/L</p>	<p>En una planta de tratamiento de agua potable, se agregan coagulantes y reactivos que generan lodos, en cuya caracterización se ha evidenciado la presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales, que se encuentran siendo eliminados en los lavados de las unidades en las descargas.</p>	<p>Al utilizar policloruro de aluminio como coagulante, el consumo en dosis de este químico sería menor, igual o mayor al consumo de sulfato de aluminio. Marque con un visto.</p> <p>¿Considera que al usar sulfato de aluminio en dosis promedio de 60-80 mg/l, se generan lodos y que en su caracterización se evidencia la presencia de aluminio residual y que este exceda los límites permisibles en la Legislación Ambiental? Marque con un visto.</p>	<p>Se utilizarán los datos que se registran en la base de Control Diario del Laboratorio, así como también los datos provenientes de los informes obtenidos durante el monitoreo de las descargas de la Planta de Tratamiento.</p> <p>La técnica de recolección empleada en la investigación es la Encuesta.</p>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

## Técnicas e instrumentos

En este trabajo investigativo, se utilizará como técnica investigativa la encuesta, porque permitirá la elaboración y procesamiento de los datos obtenidos de forma rápida y eficaz.

## Plan para la Recolección de la información

Para obtener la información se seleccionó los registros de la base de datos de la Planta de Tratamiento correspondientes al monitoreo del agua del año 2014 del Control Diario de los parámetros físico químicos básicos color, turbiedad, dosis de sulfato caudal de tratamiento, así como también a los datos obtenidos durante en monitoreo ambiental de las descargas de los lodos generados en la misma, durante el año 2014.

Cuadro N° 7: Plan de recolección

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
1. ¿Para qué?	Para encontrar un coagulante alternativo al uso del sulfato de aluminio que permita disminuir la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de la Planta.
2. ¿De qué lugar?	De la Planta de Tratamiento El Troje.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Sobre la influencia de la remoción de la turbiedad con la presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales de las descargas de la Planta.
4. ¿Quiénes?	Se aplicará al personal técnico que laboran en las diferentes Plantas de Tratamiento.
5. ¿Cuándo?	Este trabajo se realizará durante el primer trimestre del año 2016.
6. ¿Dónde?	En las instalaciones de las distintas Plantas de Tratamiento.

7. ¿Cuántas veces?	Una sola vez durante el período 2014-2016.
8. ¿Qué técnicas de recolección?	La técnica de recolección empleada es la Encuesta.
9. ¿Con qué?	Con una encuesta elaborada y aprobada que permita obtener información acerca de la situación de la problemática y sus posibles soluciones.
10. ¿En qué situación?	En las condiciones de funcionamiento normales y rutinarias de las Plantas.

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

### **Procesamiento de la información**

Los datos necesarios para esta investigación se obtuvieron según el siguiente detalle:

- Solicitar acceso a la base de datos de la Planta de Tratamiento El Troje, para obtener los datos del Control diario de Planta.
- Solicitar acceso a la información ambiental de los monitoreos realizados, en los que consta la cuantificación de aluminio residual y sólidos suspendidos totales presentes en las caracterizaciones de las descargas de la planta en los diferentes períodos.
- Elaboración de las encuestas a ser aplicadas.
- Solicitar de llenado de encuestas el personal técnico administrativo de las diferentes Plantas de Tratamiento de la EPMAPS.

- Procesamiento estadístico de los resultados de las encuestas aplicadas, a través del software Excel.
- Aceptación de la Hipótesis Alternativa mediante el uso del estadístico chi cuadrado.

Los datos con los que se cuenta para esta investigación, no pueden ser manipulados ni tratados, pues forman parte de la base de datos de la Planta de Tratamiento y que son publicados para que la ciudadanía pueda verificar el aseguramiento de la calidad del producto que está consumiendo diariamente.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A fin de viabilizar la investigación se aplicaron encuestas sobre las diferentes alternativas del uso de coagulantes, utilizados en el proceso de coagulación en la potabilización del agua a una población de 15 personas, lo que me permitirá obtener datos sobre el efecto de la remoción de turbiedad y su incidencia en la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la Planta el Troje de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable. El análisis de los resultados de estas variables posteriormente servirá para realizar las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

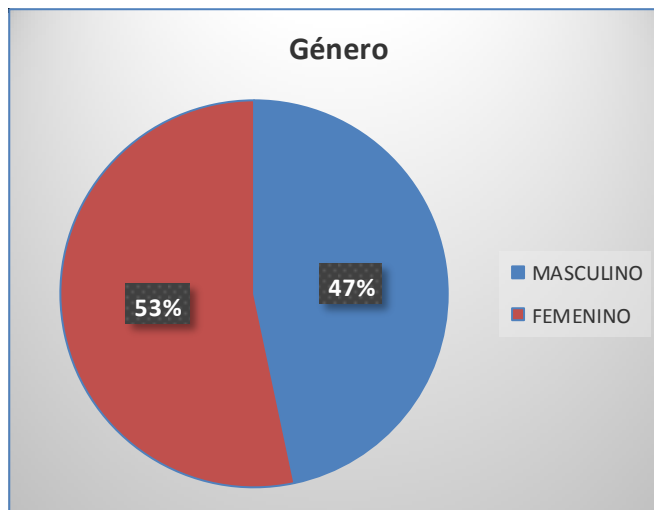
#### Género

Cuadro N° 8: Determinación del género de las personas encuestadas

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
MASCULINO	7	47%
FEMENINO	8	53%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 5: Representación gráfica del porcentaje de género de las personas encuestadas**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de los resultados presentados en la tabla 8, se determina que un 47% de los encuestados corresponde al género masculino, mientras que el 53% son de género femenino.

## Profesión

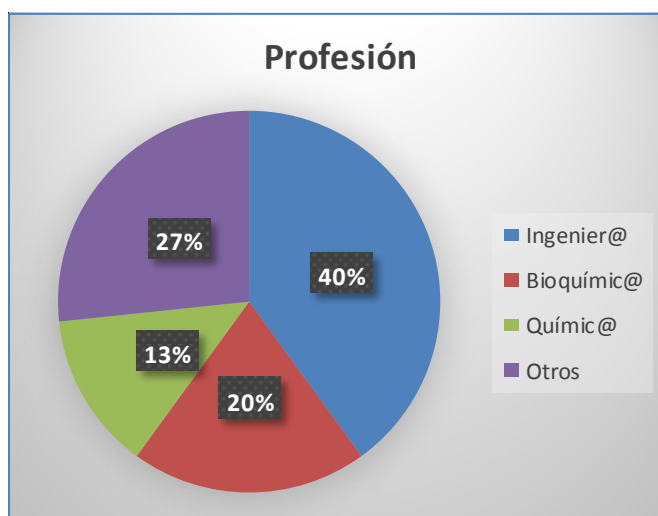
**Cuadro N° 9: Determinación de la profesión de las personas encuestadas**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Ingeniero	6	40%
Bioquímico	3	20%
Químico	2	13%
Otros	4	27%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo





**Gráfico No. 6: Representación gráfica del porcentaje de profesiones de las personas encuestadas**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

En la Tabla 9 se presenta la variación de los porcentajes de las profesiones de las personas encuestadas y se tiene que: el 40% se encuentra representado por ingenieras e ingenieros, el 20% por bioquímicas y bioquímicos, el 13% químicas y químicos un 27% a otras profesiones con tecnólogos médicos, por ejemplo.

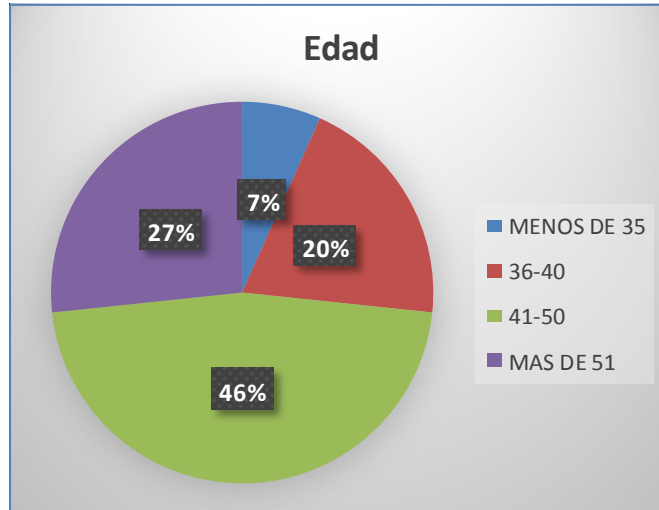
## Edad

**Cuadro N° 10: Determinación de la edad de las personas encuestadas**

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
MENOS DE 35	1	7%
36-40	3	20%
41-50	7	47%
MAS DE 51	4	27%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 7: Representación gráfica del porcentaje de edad de las personas encuestadas**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

En la tabla 10, se presentan los resultados de las tabulaciones de los rangos de la edad de las personas encuestadas y se tiene que: en el rango de 41-50 años se encuentran un 47%, en el rango de más de 51 años están un 27%, de 36 a 40 años están un 20% y solo un 7% están en el rango de menos de 35 años.

### **PREGUNTA No. 1**

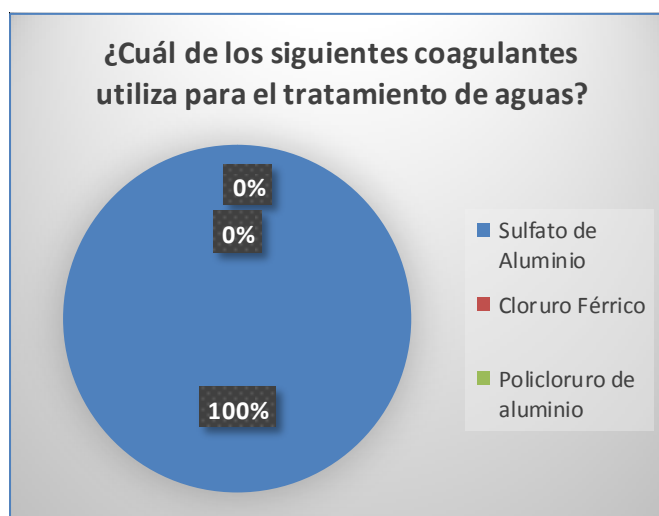
¿Cuál de los siguientes coagulantes utiliza para el tratamiento de aguas?

**Cuadro N° 11: Determinación del coagulante más utilizado**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Sulfato de Aluminio	15	100%
Cloruro Férrico	0	0%
Policloruro de aluminio	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 8: Representación gráfica del porcentaje de uso de coagulante en plantas de tratamiento**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 11 se determina que el 100% de los encuestados usan para el tratamiento de aguas claras sulfato de aluminio.

## **PREGUNTA No. 2**

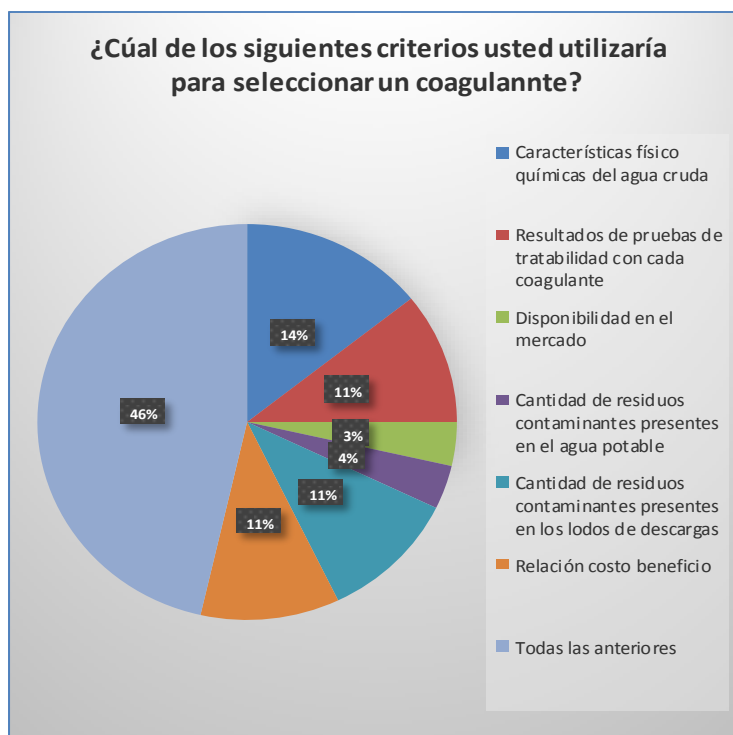
¿Cuál de los siguientes criterios usted utilizaría para seleccionar un coagulante?

**Cuadro N° 12: Determinación de criterios para seleccionar un coagulante**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Características físico químicas del agua cruda	4	14%
Resultados de pruebas de tratabilidad con cada coagulante	3	11%
Disponibilidad en el mercado	1	4%
Cantidad de residuos contaminantes presentes en el agua potable	1	4%
Cantidad de residuos contaminantes presentes en los lodos de descargas	3	11%
Relación costo beneficio	3	11%
Todas las anteriores	13	46%
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 9: Representación gráfica del porcentaje de uso de criterios usados para elegir coagulante**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

### **PREGUNTA No. 3**

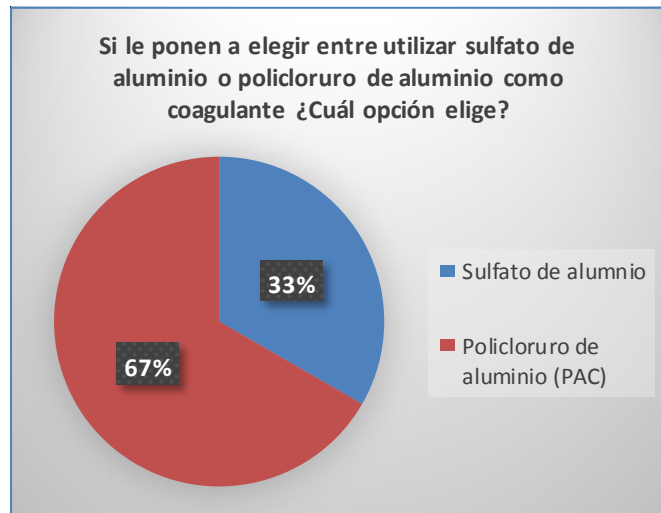
Si le ponen a elegir entre utilizar sulfato de aluminio o policloruro de aluminio como coagulante ¿cuál opción elige?

**Cuadro N° 13: Elección de coagulante**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Sulfato de aluminio	5	33%
Policloruro de aluminio (PAC)	10	67%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 10: Representación gráfica del porcentaje de uso de coagulante**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 13 se determina que el 67% de los encuestados elegirían trabajar con policloruro de aluminio, mientras que un 33% elegirían como coagulante para el tratamiento de aguas claras sulfato de aluminio.

#### **PREGUNTA No. 4**

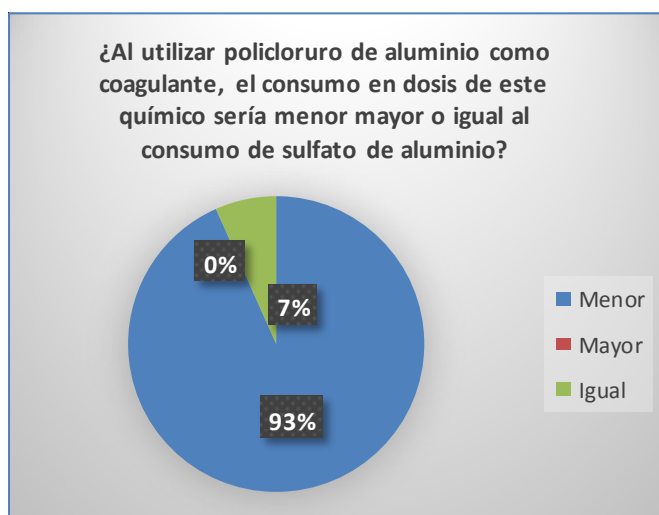
¿Al utilizar policloruro de aluminio como coagulante, el consumo en dosis de este químico sería menor, igual o mayor al consumo de sulfato de aluminio?

**Cuadro N° 14: Determinación de ponderación del consumo de Policloruro de Aluminio vs  $Al_2(SO_4)_3$**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Menor	14	93%
Mayor	0	0%
Igual	1	7%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 11: Representación gráfica del porcentaje de ponderación de consumo de PAC vs  $Al_2(SO_4)_3$**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 14 se determina que el 93% de los encuestados opinan que al trabajar con policloruro de aluminio como coagulante se utiliza una menor dosis, mientras que un 7% dice que la dosis utilizada con el coagulante policloruro de aluminio es igual a la dosis aplicada cuando se trabaja con sulfato de aluminio.

### **PREGUNTA No. 5**

¿De su experiencia considera usted que el policloruro de aluminio, dentro del proceso de remoción de turbiedad, genera más o menos lodos que el sulfato de aluminio?

**Cuadro N° 15: Determinación de la ponderación de generación de lodos del PAC**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Más lodos	2	13%
Menos lodos	13	87%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 12: Representación gráfica del porcentaje de ponderación de generación de lodos del PAC**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 15 se determina que el 87% de los encuestados opinan que al trabajar con policloruro de aluminio como coagulante se genera menos lodos, mientras que un 13% dice que la cantidad de lodos generados con el coagulante policloruro de aluminio es mayor la cantidad de lodos generados cuando se trabaja con sulfato de aluminio.

### **PREGUNTA No. 6**

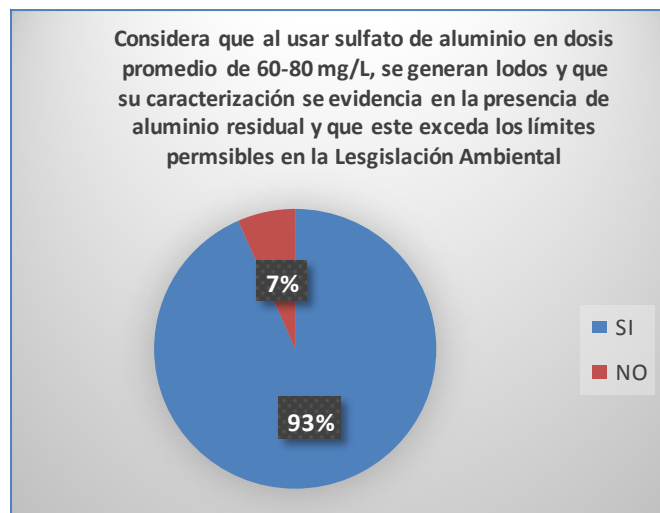
¿Considera que el usar sulfato de aluminio en dosis promedio de 60-80 mg/L, se generan lodos y que su caracterización se evidencia en la presencia de aluminio residual y que este exceda los límites permisibles en la Legislación Ambiental?

**Cuadro N° 16: Determinación si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$  generan Aluminio residual en las descargas**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
SI	14	93%
NO	1	7%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 13:** Representación gráfica del porcentaje de si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$  generan Aluminio residual en las descargas

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 16 se determina que el 93% de los encuestados opinan que al trabajar con dosis de entre 60-80 mg/L de sulfato de aluminio se generan lodos en las descargas, en los cuales se ha determinado la presencia de aluminio residual; mientras que un 7% dicen que no a este criterio.

### PREGUNTA No. 7

¿Considera que al usar sulfato de aluminio en dosis promedio de 60-80 mg/l, se genera lodos y que, en su caracterización, se evidencia la presencia de sólidos suspendidos totales que estos excedan los límites permisibles?

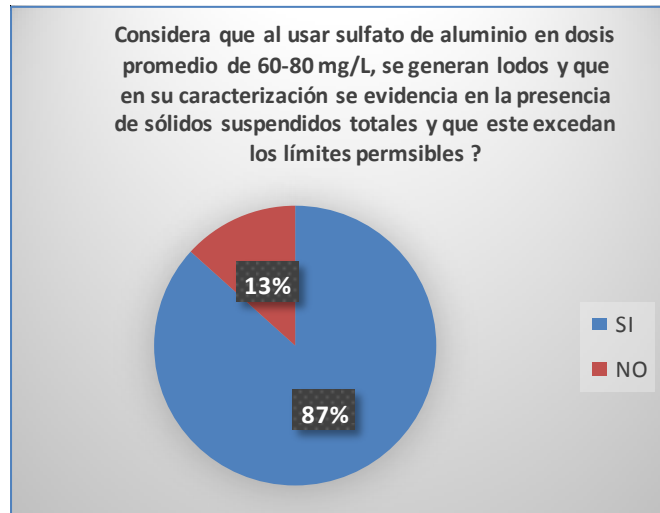
**Cuadro N° 17:** Determinación si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$  generan Sólidos suspendidos totales en las descargas

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	13	87%
NO	2	13%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo





**Gráfico No. 14:** Representación gráfica del porcentaje de si el consumo de dosis de 60-80 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$  generan Sólidos suspendidos totales en las descargas

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 17 se determina que el 87% de los encuestados opinan que al trabajar con dosis de entre 60-80 mg/L de sulfato de aluminio se generan lodos en las descargas, en los cuales se ha determinado la presencia de sólidos suspendidos totales; mientras que un 13% dicen que no a este criterio.

### PREGUNTA No. 8

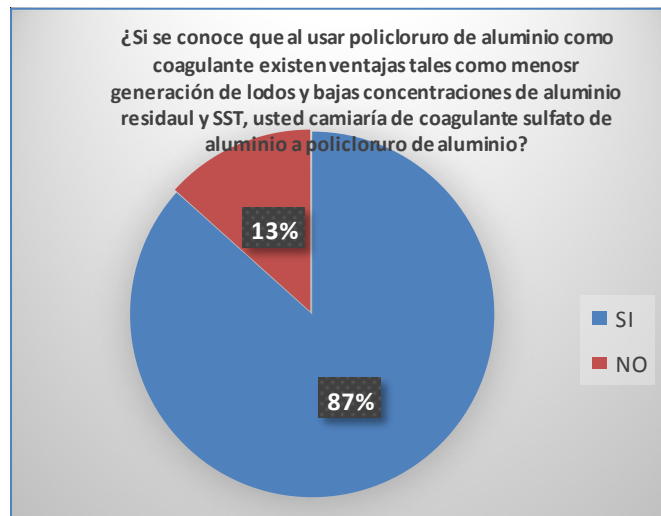
¿Si se conoce que al usar policloruro de aluminio como coagulante existen ventajas tales como menor generación de lodos y bajas concentraciones de aluminio residual y SST, usted cambiaría de coagulante sulfato de aluminio a policloruro de aluminio?

**Cuadro N° 18:** Determinación cambio del uso de  $Al_2(SO_4)_3$  de acuerdo a las ventajas del uso del PAC

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	13	87%
NO	2	13%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 15: Representación gráfica del porcentaje de cambio del uso de  $Al_2 (SO_4)_3$  de acuerdo a las ventajas del uso del PAC**

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 18 se determina que el 87% de los encuestados opinan que las ventajas que se presenta al trabajar con policloruro de aluminio como coagulante, tales como menor generación de lodos, menor concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos cambiarían el sulfato de aluminio por el policloruro de aluminio; mientras que un 13% dicen que no utilizarían el policloruro de aluminio.

### PREGUNTA No. 9

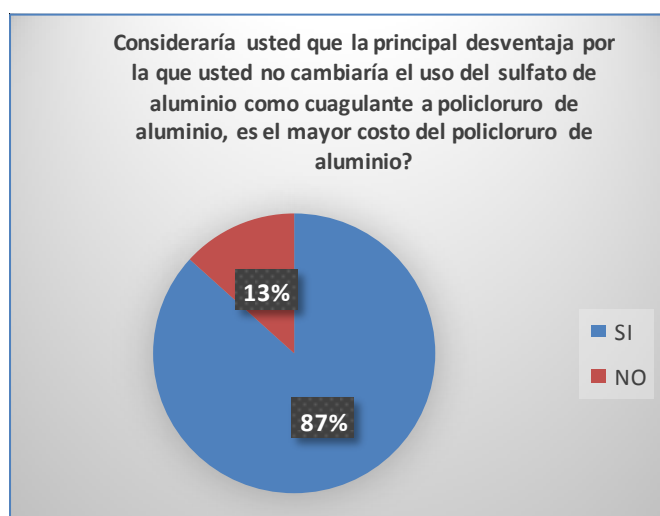
¿Consideraría usted que la principal desventaja por la que usted no cambiaría el uso del sulfato de aluminio como coagulante a policloruro de aluminio, es el mayor costo del policloruro de aluminio?

**Cuadro N° 19: Confirmación del uso de  $Al_2 (SO_4)_3$  vs. el costo del uso del PAC**

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	14	93%
NO	1	7%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 16: Representación gráfica del porcentaje del uso de  $Al_2(SO_4)_3$  vs. el costo del uso del PAC**

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

Del análisis de la tabla 19 se determina que el 87% de los encuestados opinan que la principal desventaja por la que no cambiarían el coagulante sulfato de aluminio a policloruro de aluminio es el costo de este último; mientras que un 13% no concuerdan con este criterio.

### PREGUNTA No. 10

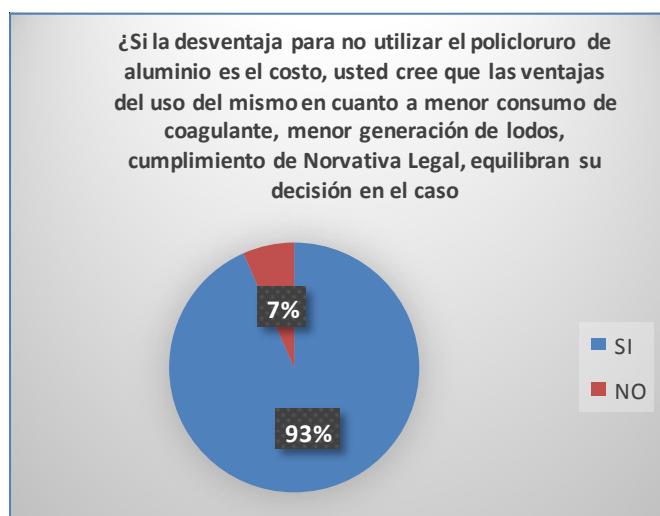
¿Si la desventaja para no utilizar el policloruro de aluminio es el costo, usted cree que las ventajas del uso del mismo en cuanto a menor consumo de coagulante, menor generación de lodos, cumplimiento de Normativa Legal, equilibran su decisión en el caso que deba cambiar de coagulante sulfato de aluminio?

**Cuadro N° 20: Confirmación del uso del PAC en función de sus ventajas**

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	13	87%
NO	2	13%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico 1 Representación gráfica del porcentaje del uso del PAC en función de sus ventajas**

**Fuente:** Investigación

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

Si se analiza que la desventaja para no utilizar el policloruro de aluminio como coagulante es el costo, mientras que las ventajas del uso del mismo en cuanto a menor consumo de coagulante, menor generación de lodos, cumplimiento de Normativa Legal, equilibran la decisión de cambiar de coagulante sulfato de aluminio a policloruro de aluminio tabla 20, el 93% consideran que bajo este criterio ellos si cambiarían de coagulante, mientras que el 7% dicen que no cambiarían de coagulante.

## **Análisis e interpretación**

### **Verificación de Hipótesis**

Para comprobar la hipótesis establecida en la presente investigación, se empleó la prueba de independencia Chi- Cuadrado que es un método ideal para determinar si la hipótesis planteada es aceptada o rechazada, tomando en cuenta las frecuencias esperadas y observadas en la muestra. Esta prueba nos permite determinar si existe una relación entre dos variables categóricas, luego de analizar los resultados de la información obtenida en las encuestas.

### **Modelo lógico.**

**Hipótesis Nula (Ho):** La remoción de turbiedad no incide en el incremento de la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la E. P. Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, ubicada en el cantón Quito, Provincia de Pichincha, Gerencia de Operaciones, Departamento de Producción, Planta de Tratamiento El Troje.

**Hipótesis Alternativa (H1):** La remoción de turbiedad incide en el incremento de la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la E. P. Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, ubicada en el cantón Quito, Provincia de Pichincha, Gerencia de Operaciones, Departamento de Producción, Planta de Tratamiento El Troje.

### **Modelo Matemático.**

Ho:  $O = E$  (no existe diferencia significativa entre los datos observados y los esperados)

Hi:  $O \neq E$  (si existe diferencia significativa entre los datos observados y los esperados)

### **Modelo Estadístico.**

$$X^2 = \sum \left[ \frac{(O-E)^2}{E} \right]$$

### **Prueba de Hipótesis**

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

95% de confiabilidad

## Zona de Rechazo de la Ho.

$$gl = (c - 1) (f - 1)$$

$$gl = (2 - 1) (4 - 1)$$

$$gl = 3$$

$$x^2_t = 7.82 \text{ (De Chi-Cuadrado Tabulado)}$$

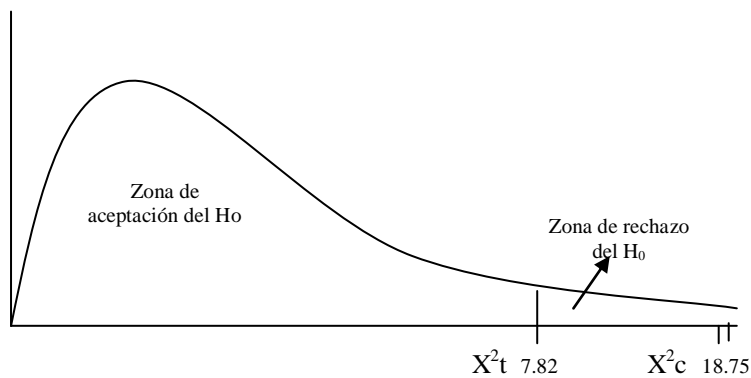
**Cuadro N° 21: Valores Tabulados de Distribución de Chi. Cuadrado**

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

Grados de libertad	Probabilidad										
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59
	No significativo								Significativo		

Fuente: [https://www.google.com.ec/search?q=valores+criticos+de+distribucion+chi+cuadrado&rlz=1C1CHMO\\_esEC583EC583&espv=2&biw=1280&bih=551&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjSurHb997MAhWEPT4KHataCDwQ\\_AUIBigB&dpr=1#imgrc=Hx056PehGNrjM%3](https://www.google.com.ec/search?q=valores+criticos+de+distribucion+chi+cuadrado&rlz=1C1CHMO_esEC583EC583&espv=2&biw=1280&bih=551&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjSurHb997MAhWEPT4KHataCDwQ_AUIBigB&dpr=1#imgrc=Hx056PehGNrjM%3)

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo



**Gráfico No. 17: Valores Críticos Chi-Cuadrado**

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

### Decisión.

Se rechaza  $H_0$ :

Si  $X^2_c > X^2_t$  (**Chi-Cuadrado** Calculado es mayor que Chi-Cuadrado Tabulado)

Para este caso, como se muestra más adelante:

$$18,75 > 7,82$$

### Cálculo Estadístico.

### Frecuencias Observadas de las Variables

Cuadro N° 22: Frecuencias observadas de las Variables

ALTERNATIVA	SI USA SULFATO ENTRE 60-80 mg/L GENERA LODOS QUE EVIDENCIA LA PRESENCIA DE SST EN LAS DESCARGAS		SI TIENE QUE ELEGIR COAGULANTE		CON PAC GENERA MENOS LODOS, Al y SST A LA DESCARGA CAMBIARIA DE SULFATO A PAC		VENTAJAS DE USO DE PAC SUPERAN EL MAYOR COSTO DEL MISMO RESPECTO AL SULFATO		TOTAL
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
Remoción de Turbiedad	13	-	5	-	14	-	13	-	45
Presencia de Al y SST en descargas	-	2	-	10	-	1	-	2	15
<b>TOTAL</b>	15		15		15		15		60

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

## Frecuencias Esperadas de las Variables

$$fe = \frac{Tc * Tf}{T}$$

Dónde:

fe = Frecuencia del valor esperado

Tc = Total de columnas

Tf = Total de filas

T = Suma total

Forma de cálculo:

Frecuencias esperadas

$$e=(Tc*Tf) /T \quad (15*45) /60 = 11,25$$

$$(15*15) /60 = 3,75$$

$$(15*45) /60 = 11,25$$

$$(15*15) /60 = 3,75$$

$$(15*45) /60 = 11,25$$

$$(15*15) /60 = 3,75$$



Cuadro N° 23: Frecuencias esperadas de las Variables

ALTERNATIVA	SI USA SULFATO ENTRE 60-80 mg/L GENERA LODOS QUE EVIDENCIA LA PRESENCIA DE SST EN LAS DESCARGAS		SI TIENE QUE ELEGIR COAGULANTE		CON PAC GENERA MENOS LODOS, Al y SST A LA DESCARGA CAMBIARIA DE SULFATO A PAC		VENTAJAS DE USO DE PAC SUPERAN EL MAYOR COSTO DEL MISMO RESPECTO AL SULFATO		TOTAL
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
Remoción de Turbiedad	11,25	-	11,25	-	11,25	-	11,25	-	33,75
Presencia de Al y SST en descargas	-	3,75	-	3,75	-	3,75	-	3,75	11,25
<b>TOTAL</b>	15		15		15		15		45

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

### Cálculo del Chi cuadrado

Cuadro N° 24: Cálculo del Chi cuadrado

O	E	(O - E)	(O - E) <sup>2</sup>	(O - E) <sup>2</sup> / E
13	11,25	1,75	3,0625	0,2722222
2	3,75	-1,75	3,0625	0,8166667
5	11,25	-6,25	39,0625	3,4722222
10	3,75	6,25	39,0625	10,4166667
14	11,25	2,75	7,5625	0,6722222
1	3,75	-2,75	7,5625	2,0166667
13	11,25	1,75	3,0625	0,2722222
2	3,75	-1,75	3,0625	0,8166667
$\chi^2_{(c)} =$				<b>18,755556</b>

Fuente: Investigación

Autora: Norma Chicaiza Hidalgo

$$\chi^2_c = 18.75$$

De acuerdo a los resultados obtenidos el valor de  $\chi^2_c$  (Chi-Cuadrado Calculado) es 18,75 que es mayor a  $\chi^2_t = 7,82$  (Chi-Cuadrado Tabulado) por lo que, de acuerdo a la regla de decisión de la prueba, se rechaza la hipótesis nula y

se acepta la hipótesis alternativa que es la hipótesis de la presente investigación, que expresa: “La remoción de turbiedad incide en el incremento de la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas, en la E. P. Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, ubicada en el cantón Quito, Provincia de Pichincha, Gerencia de Operaciones, Departamento de Producción, Planta de Tratamiento El Troje”.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

1. El 67% de encuestados cambiarían el uso de sulfato de aluminio por PAC como coagulante.
2. El 87% de encuestados señalan que el uso de dosis de sulfato de aluminio como coagulante genera más lodos que con el uso del PAC.
3. El Chi-Cuadrado Calculado  $X^2_t$  18,75 es mayor que el Chi-Cuadrado de tablas  $X^2_t$  7,82 por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa la presente investigación,

#### Recomendaciones

1. Elaborar el presupuesto para el cuarto trimestre del año 2017 para implementar la Planta Productora de PAC.
2. Gestionar la entrega de los lodos provenientes del proceso productivo del PAC con empresas que los utilicen, para neutralizar los desechos producidos en sus procesos.
3. Programar el seguimiento de la caracterización de los lodos generados en las descargas de la Planta, una vez que se encuentre aplicando el PAC en el proceso productivo de la potabilización con la finalidad de evidenciar que se ha disminuido la concentración de aluminio residual y los sólidos suspendidos totales en las descargas.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **Título:**

Estudio de la Prefactibilidad para el Diseño de una Planta Productora de Policloruro de Aluminio líquido.

#### **Datos Informativos:**

La Planta de Tratamiento El Troje se abastece del Sistema de Agua Potable La Mica y sirve a 300.000 personas que habitan en el área comprendida desde la Av. Morán Valverde hacia el sur de la ciudad, se encuentra ubicada en la Loma de Puengasí, en el sector denominado El Troje que divide los Valles de Chillos y Guamaní al sur de la ciudad de Quito. Está ubicada en la cota 3157 m.s.n.m, lo que permite el abastecimiento por gravedad al sector sur de la ciudad.

La capacidad de diseño es de 1,7 m<sup>3</sup>/s, pero en su primera etapa de construcción se limitó al 50% de su capacidad.

La planta El Troje cuenta con un canal al ingreso de las tuberías de conducción de agua por la cual se envía el exceso de agua cruda que es recibida en la Planta de tratamiento de agua potable Puengasí.

Según el informe de caracterizaciones de descargas líquidas y emisiones de ruido de las Plantas de potabilización de la EPMAPS, en el período enero – diciembre 2014, se puede evidenciar para la Planta El Troje los siguientes resultados promedios obtenidos del análisis del aluminio residual (36 y 35,8 mg/L) y sólidos suspendidos totales (274 y 250 mg/L) en las descargas. Mientras

que para el año 2015 estos valores son: aluminio residual (40.05 mg/L en el segundo semestre) y sólidos suspendidos totales (324,0 y 348,0 mg/L durante los dos semestres).

### **Antecedentes**

El policloruro de aluminio es un derivado polimérico del aluminio que existe desde hace muchos años en Europa y el Japón y que ahora se ha introducido también en el mercado norteamericano. El policloruro de aluminio (abreviado generalmente como PAC) es el resultado de un proceso de fabricación complejo bajo condiciones de trabajo controladas. Denominaciones: policloruro de aluminio o Polihidroxiclورو de aluminio, en el mercado tenemos dos una catiónico (aporta cargas positivas) y otro aniónico (aporta cargas negativas). Otras menos frecuentes: cloruro de polialuminio, oxiclورو de aluminio.

El policloruro de aluminio (PAC) es un floculante coagulante líquido del tipo polímero de reacción catiónica, es eficiente tanto como floculante, como un coagulante primario en la clarificación de aguas con niveles variables de turbiedad y color provenientes de minerales o de materia orgánica. Estos tipos de productos son aprobados para el tratamiento de agua potable y utilizada para tal efecto en los Estados Unidos de Norte América, en el Reino Unido y en la mayoría de países de la Unión Europea.

Las propiedades de este coagulante son: una mejor formación de floc, más amplio rango de pH, menor generación de lodos y poca o ninguna necesidad de usar conjuntamente polielectrolitos (floculantes). A pesar de sus ventajas no se puede dejar de mencionar su desventaja que tiene mayor costo que el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, este costo podría equilibrarse si conjuntamente con los coagulantes metálicos, con los cuales hay necesidad de usar polielectrolitos (floculantes).

## **Justificación**

El tratamiento del agua se divide en varias etapas, una de las cuales es la clarificación, que consiste en la eliminación de las partículas coloidales por coagulación, floculación y sedimentación. Las sales de aluminio, como el sulfato de aluminio, son compuestos químicos convencionales usados para clarificar; sin embargo, se requieren cantidades elevadas de estas sales, lo que produce altas concentraciones de aluminio en las descargas y de sólidos suspendidos totales.

Por tal motivo se requiere desarrollar un producto sustituto del sulfato de aluminio que sea más efectivo en el proceso de clarificación, lo cual se conseguirá a través del planteamiento de diseño de una Planta Productora de policloruro de aluminio PAC.

Es además importante enfatizar en las grandes ventajas que proporcionará el uso del policloruro de aluminio como coagulante dentro del proceso de potabilización entre las más importantes como ya las mencioné en capítulos anteriores son: el uso de menor cantidad de coagulante (dosis mg/L), menor formación de volumen de lodos en filtros y sedimentadores y sobre cumplimiento con la normativa legal ambiental en cuanto a la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de la planta.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar una Planta Productora de Policloruro de Aluminio, cuyo producto (PAC) permita disminuir la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas.

## **Objetivos Específicos**

1. Identificar la demanda anual del coagulante sobre la cual se realizará el diseño de la planta.
2. Definir las características físico químicas con las se obtendrá el PAC, en función a las especificaciones técnicas del producto establecido por la EPMAPS.
3. Determinar los parámetros de diseño de la Planta Productora de PAC.

## **Análisis de Factibilidad**

La planta de producción de policloruro de aluminio (PAC) se diseñará, para atender la demanda local de la Planta de tratamiento El Troje. Esto significa aproximadamente 1300 Ton/año, según datos de los consumos anuales del sulfato de aluminio líquido en las Planta.

En cuanto al costo del sulfato de aluminio en promedio podemos decir que es de 0,195 UDS/Kg, en cambio se ha investigado que el costo promedio en el país del policloruro de aluminio es de 0.5 USD/Kg; lo que aparentemente nos permitiría dar el criterio que por costos el proyecto no es factible, siendo esta la principal desventaja del mismo.

Sin embargo hay que analizar las variadas ventajas que la producción y el uso del policloruro de aluminio proporcionarán como por ejemplo: la generación de menor cantidad de lodos en el proceso de clarificación del agua; la disminución de las dosis de consumo de la planta, el incremento de las carreras de filtración, pero sobre todo la disminución de aluminio residual en las descargas al igual que la disminución de los sólidos suspendidos totales en las mimas con lo cual se genera cumplimiento de la leyes ambientales vigentes en el Ecuador para las descargas.

## **Fundamentación Científico-Técnica**

El policloruro de aluminio es un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas, es ampliamente utilizado en un sin fin de procesos industriales, tales como: remoción de color y materia coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras, clarificación de efluentes industriales y como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y otras sales inorgánicas convencionales no polimerizadas.

Las ventajas del uso del coagulante policloruro de aluminio con respecto al sulfato de aluminio son muchas como ya se ha mencionado, pero se enfatizan en las siguientes; el pH óptimo de coagulación es más alto que cuando se usa sulfato de aluminio; puede ser posible utilizar el PAC sin un proceso adicional de alcalinización; la remoción de sustancia orgánicas es mejor que cuando se usa sulfato de aluminio; debido a que el policloruro reacciona más rápido que el sulfato mejora la formación de flóculos y atenúa la influencia de la temperatura del agua; además se puede obtener la disminución de consumo de dosis de coagulante constituyendo este un factor importante en el costo de producción del agua potable.

Las materias primas para su fabricación pueden ser; el hidróxido de aluminio y el ácido clorhídrico. Alternativamente en lugar de usar hidróxido de aluminio se puede usar bauxita natural o como lo propone Jazmín Mendoza, 2012 a partir de virutas de aluminio provenientes de la chatarra de materiales que lo contengan. Puede también ser fabricados en reactores atmosféricos con lingotes de aluminio sólido y ácido clorhídrico, la reacción se caracteriza por ser exotérmica y para alcanzar la densidad deseada del producto es necesario ir agregando agua la temperatura de reacción ideal se encuentra cerca de los 98°C.



Ambos productos son colocados en un reactor y mantenidos a determinadas temperaturas y presiones mientras son agitados, produciendo el PAC al cabo de cinco horas aproximadamente.

Generalmente el producto resultante, es sometido a un filtro de bandas y luego almacenado para su uso. Algunos fabricantes ofrecen diferentes tipos de PAC según sea su contenido de óxidos útiles o su basicidad.

Otto Helmbolt (2002), en su estudio del policloruro de aluminio, menciona que el PAC es una sal polimérica del cloruro de aluminio fabricada para dar mejores características coagulantes y floculantes que las sales de hierro comúnmente usadas. Este describe un método de obtención a partir de ácido clorhídrico al 32% con hidróxido de aluminio, aluminio metálico hidratado manteniendo una temperatura de reacción de 80°C, siendo esta exotérmica.

La solución obtenida es filtrada para eliminar el exceso de hidróxido de aluminio que se lo recircula al proceso, de esta manera se obtiene un PAC cuya concentración de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es del 10 al 21%.

## **Metodología**

### **Parámetros de Diseño.**

### **Selección de Materias Primas.**

Para la fabricación del policloruro de aluminio se utilizará como materias primas: la buaxita, el ácido clorhídrico y agua.

### **Bauxita**

La bauxita es una roca sedimentaria compuesta por hidróxido de aluminio en formas primarias y en menor medida por óxido de hierro, sílice, dióxido de titanio y trazas de metales.

La reacción de obtención del policloruro de aluminio, se requiere una bauxita con un contenido de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) entre 45 % a 65 % en peso. Una composición típica de bauxita.

### **Ácido Clorhídrico**

El ácido clorhídrico es una disolución acuosa, de cloruro de hidrógeno con color amarillo por la presencia de trazas de hierro, cloro o materia orgánica; o incoloro con un olor penetrante.

La disolución acuosa grado reactivo contiene aproximadamente 32% de ácido clorhídrico, es utilizado en la refinación de minerales, en la extracción de estaño y tántalo, para limpiar metales, como reactivo químico, en la hidrólisis de almidón y proteínas para obtener otros productos alimenticios y como catalizador y disolvente en síntesis orgánicas. Sus vapores son irritantes a los ojos y membranas mucosas, es soluble en agua desprendiendo calor, es corrosivo de metales y tejidos.

### **Agua**

El agua permite la dilución de ácido clorhídrico y la generación de la reacción exotérmica en la producción de policloruro de aluminio líquido. Además, es un factor importante debido a que se inyecta a la solución concentrada de policloruro de aluminio que se encuentra en la última etapa para obtener un producto final con una densidad aproximada de 1,325 g/ml.

### **Descripción del proceso productivo**

El proceso para la fabricación del policloruro de aluminio, consiste en la reacción del ácido clorhídrico al 32% con alúmina y agua en un reactor.

La reacción se caracteriza por ser exotérmica y su temperatura de reacción ideal se encuentra cerca de los 98°C, por lo cual es necesario ir agregando agua hasta obtener la densidad deseada (1,25 a 1,325 g/ml) el policloruro.

### **Trituración y molienda**

La bauxita que se encuentra en forma de piedras se tritura y muele hasta obtener un material fino que pase una pantalla de malla N° 20

### **Transporte del material triturado y molido**

Mediante bandas transportadoras se transporta la bauxita molida hacia un mezclador.

### **Transformación de la bauxita molida a una pasta de lodo**

A la bauxita molida que contiene la alúmina, se la mezcla con agua caliente en un mezclador de hélice.

### **Sedimentación**

La mezcla de la bauxita molida con el agua se la hará reposar para que sedimenten los lodos en un reactor, en el cual se recoge el sobre nadante, el cual pasará a través de un filtro con la finalidad de eliminar impurezas que no han sedimentado.

### **Reacción**

Los reactivos alúmina y ácido clorhídrico se mezclan en un reactor. La etapa de mezcla es ayudada mediante un agitador.

Los reactivos se pre-calientan a una temperatura de 65,6 °C (130,4 °F), gracias a la temperatura propia de la reacción, pero este debe ascender a 98 °C (179 °F) para lo cual se genera temperatura en el reactor mediante un intercambiador de calor que genera vapor de agua. Con lo cual se asegura una mayor capacidad o rendimiento de la reacción.

Posterior a la etapa de reacción continúa una etapa de retención en la cual se da el llenado parcial con una fase líquida de agua ablandada en el reactor. Los reactivos se mantienen a una temperatura de 98 °C (179 °F) en la zona de reacción. Esta temperatura se mantiene mediante el control del caudal de agua de refrigeración a través del intercambiador de calor.

La presión sobre los reactivos en la zona de reacción es recomendable que se encuentre en 15 psi a 35 psi.

El tiempo de residencia de los reactivos en la reacción se mantiene entre 5 y 45 minutos, de preferencia, para alcanzar el 78 % al 100 % de la reacción.

Una vez que el producto final se encuentre con una densidad entre el 1.25 a 1,325 g/ml, en peso específico. El policloruro de aluminio líquido obtenido se enfría, pasa a través de un filtro para retirar posible material sólido remanente; para luego ser almacenado y manipulado, por lo general, a una temperatura de 50 °C (107 °F).

### **Almacenamiento**

El policloruro de aluminio líquido obtenido, a través de tubería se transporta para ser almacenado previo a su distribución y uso.

### **Equipamiento de la planta de producción**

### **Molienda de bauxita**

- Mediante una carretilla y pala: se transportar la bauxita hacia el molino.
- Banda transportadora: con el que se disminuirá la granulometría de la bauxita para tener una mayor área de reacción durante la hidrólisis.
- Tamiz malla N° 20: permite retener partículas con muy poca superficie de contacto de reacción.
- Tamiz malla N° 100: para dar una buena distribución de tamizado.

### **Preparación del Slurry**

- Bomba centrífuga de agua: dosifica el agua a la bauxita para que posteriormente se produzca la reacción exotérmica con el ácido.
- Mezclador de hélice: produce la mezcla de la bauxita y el agua para homogenizar la humedad del lodo formado.

### **Reacción química**

- Tanque de almacenamiento de ácido clorhídrico: tanque de fibra de vidrio o PVC. Este tanque debe poseer sistema para evitar la emisión de gases ácidos a la atmósfera.
- Reactor químico: el reactor químico consta de una chaqueta de intercambio de calor para mantener una temperatura aproximada de 98 °C (179 °F), presión entre 15 a 35 psig y un tiempo de residencia de los reactivos en la zona de reacción entre 5 y 45 minutos aproximadamente suficiente para alcanzar el 78 % al 100 % de la

reacción (El reactor puede ser construido de fibra de vidrio reforzada con resinas para una mayor resistencia estructural).

- Calderín: el cual será utilizado para incrementar la temperatura en el reactor.
- Torre de enfriamiento: para enfriar la reacción exotérmica que ocurre en el reactor, esto se logrará a través de inyección de agua al mismo.
- Ablandador: para evitar daños en los sistemas de enfriamiento del reactor, por lo que se requiere eliminar la dureza del agua.
- Tanque para almacenar PAC: el concentrado obtenido de la reacción debe ser almacenado en un tanque plástico, debido a sus características corrosivas.
- Bomba reciprocante: para bombear el lodo abrasivo de bauxita al reactor.
- Filtro prensa: para separar el sedimento inerte del policloruro de aluminio diluido recuperado.
- Bomba centrífuga: para la inyección de agua al tanque de dilución.

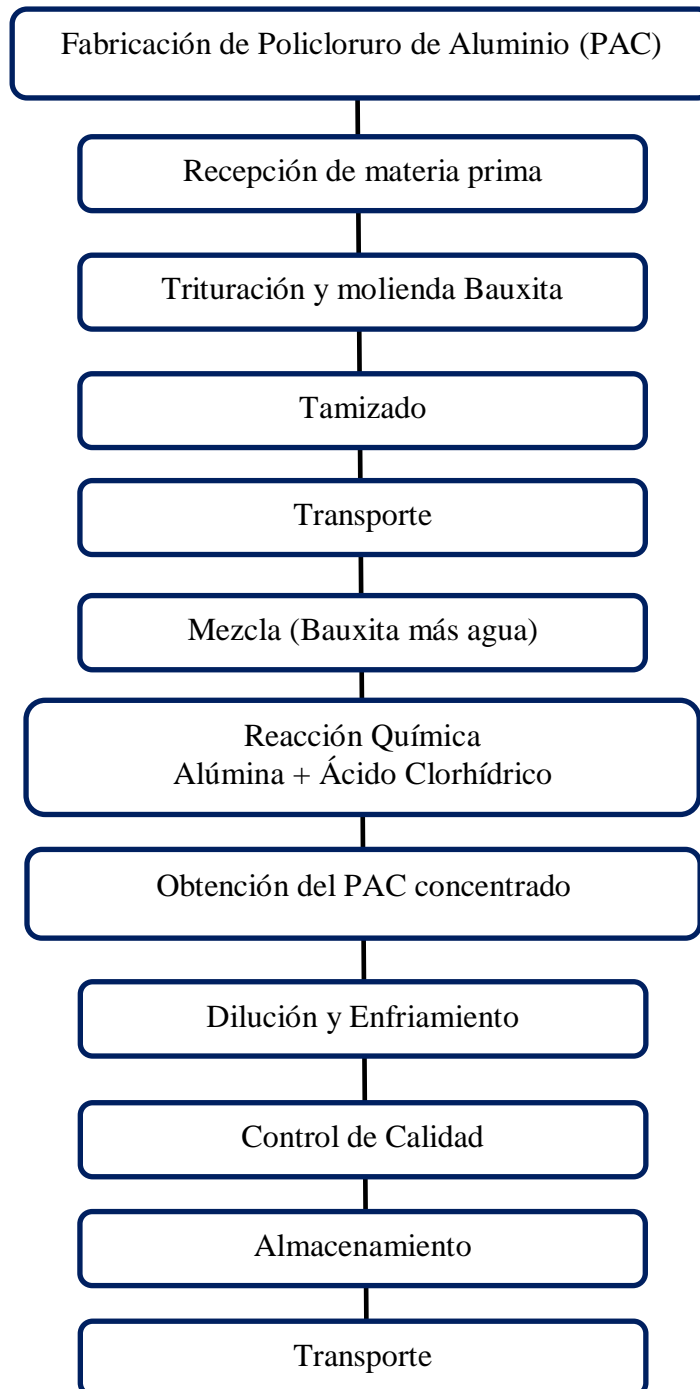
### **Dilución y enfriamiento**

- Tanque de almacenamiento: el reactor debe poseer 50 °C (107 °F), condición suficiente para la manipulación y almacenamiento (El reactor puede ser construido de fibra de vidrio reforzada con resinas para una mayor resistencia estructural).

## Tratamiento de lodos

- Los lodos obtenidos del proceso serán almacenados en un contenedor según las especificaciones dadas por el gestor ambiental.

## Diagrama de Flujo del Proceso.



## Plan de Acción.

Cuadro N° 25: Plan de Acción del diseño

Competencias y Objetivos	Estrategias metodológicas	Recursos	Evaluación
Planificar y desarrollar el diseño de una Planta Productora de PAC.	Mediante la revisión bibliográfica y en función de la información de los consumos de sulfato de aluminio para la Planta El Troje, diseñar la planta de PAC	Humanos: Tesista, bibliotecario. Materiales: Internet, tesis promociones anteriores, computador.	Una vez que la planta funcione se evaluará la disminución del consumo de coagulante en el proceso de tratamiento.
Definir las características físicas químicas con las que es obtendrá el PAC en la planta diseñada.	Mediante la revisión bibliográfica y en función de las especificaciones técnicas requeridas por la EPMAPS para el PAC.	Humanos: Tesista. Materiales: Internet, Vademécum Institucional de la EPMAPS, computador.	Cumplimiento de valores de: Densidad: 1,10 a 1,36 g/ml p H: <3,5 % mínimo de Al <sup>3+</sup> : 8%
Determinar los parámetros de diseño de la planta	Mediante la revisión bibliográfica y en función de la información de los consumos promedio de sulfato de aluminio para la Planta El Troje.	Humanos: Tesista. Materiales: Internet, biblioteca, computador.	Disponibilidad del flujo del proceso de la planta diseñada.

Fuente: Investigación.

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo



## **Administración de la Propuesta.**

Para consideración de la propuesta desarrollada, se realizará la difusión de la misma a la Jefatura de la Unidad Sistema El Troje, con la finalidad de exponer los beneficios tales como optimización de los procesos de coagulación floculación a través de optimización de dosis de coagulante y una potencial suspensión de dosis de polímero; disminución de las concentraciones de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en los lodos de las descargas de la planta, menor producción de lodos; esto es lo que se obtendrán al implementar y poner en funcionamiento el diseño de la Planta Productora de policloruro de aluminio, una vez realizada esta etapa, se propondrá que el presupuesto obtenido para la implementación y puesta en marcha del diseño sea considerado en el Plan Anual de Compras del año 2018.

Unidad operativa que administrará la propuesta

- Estructura. - La presente estructura, está enfocada a una parte de toda la estructura de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.
- **Jefatura de la Unidad Sistema El Troje** - Es la encargada de tramitar los proyectos mediante visto bueno de la Gerencia de Operaciones, la misma que recibirá los resultados de la ejecución del proyecto, los resultados de seguimiento de los análisis del laboratorio de control de Calidad y de Gestión Ambiental y Ecoeficiencia.

**Laboratorio de Control de Calidad** - Serán los encargados de realizar el seguimiento de la calidad del agua de los procesos de coagulación, floculación, filtración y de las descargas de los lodos de la planta a su vez enviará los respectivos informes a la Jefatura.

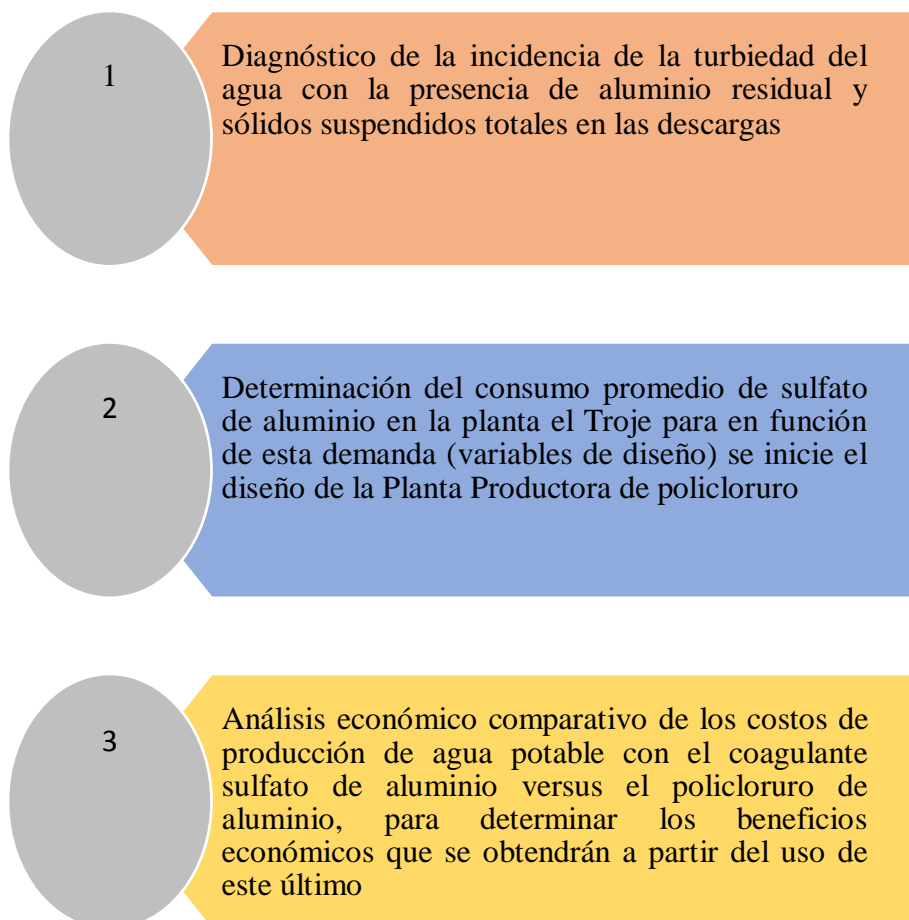
- **Departamento de Gestión Ambiental y Ecoeficiencia**- Serán los encargados de supervisar el plan de manejo ambiental durante la

implementación del proyecto y realizarán monitoreos semestrales de las descargas de lodos a la alcantarilla y las caracterizaciones de las mismas, entregando el reporte mensual de los resultados a la Jefatura de la Unidad Sistema El Troje.

- **Contratista** -Serán los encargados de realizar toda la implementación del diseño de la planta propuesto, entregando los respectivos informes de avance de obra mensualmente y la conformidad de toda la obra a la Jefatura de la Unidad, conjuntamente con el Fiscalizador asignado, quedando a expensas de que, si existiera no conformidades, tendrán que realizar las adecuaciones necesarias hasta que se cumpla con todos los requerimientos.

### **Plan de monitoreo y evaluación.**

El modelo operativo a aplicarse, consta de las siguientes fases:



Durante el primer proceso se realizó la búsqueda , compilación y análisis de la información existente en la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Troje de los datos de turbiedad, color del agua cruda que ingresa a la planta así como también de las dosis promedios de sulfato de aluminio usadas en el proceso de potabilización durante el año 2014, así como también se compiló los resultados de los monitores ambientales realizados en las descargas de la planta indicando los valores de aluminio residual y sólidos suspendidos totales que ya fueron mencionados en el Capítulo VI en datos informativos de este documento.

Posterior a este análisis, se determinó las variables en diseño en función de la demanda promedio de sulfato de aluminio en la Planta, de los criterios teóricos y bibliográficos encontrados durante la investigación, para desarrollar el diseño del proceso químico de la planta, para el nivel de producción de El Troje en primera instancia. Con el diseño disponible a futuro se puede implementar la Planta Productora de policloruro de aluminio que permitirá mejorar y optimizar los procesos coagulación, floculación, filtración, pero sobre se disminuirá la presencia de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas.

Con la implementación del diseño de la Planta Productora de Policloruro de aluminio, se obtendrán mejoras y optimizaciones técnicas de procesos tales como coagulación, floculación en la planta de Tratamiento El Troje. Estos pueden ser evaluados por el seguimiento que se dará por parte del Laboratorio de Control de Calidad de la Planta, cuyos resultados se evidenciarán en los informes mensuales que se presentan a la Jefatura de la misma.

Económicamente la implementación del diseño estudiado, se evidenciará a través de la disminución de los costos en productos químicos de coagulante y floculante que de acuerdo a la calidad del agua cruda que ingrese al proceso este último puede ser eliminado del mismo; a su vez el seguimiento de la misma se verificará en los informes mensuales que la Planta El Troje emite para la jefatura del Departamento de Producción.

Ambientalmente, el uso del policloruro de aluminio producido en el proceso de potabilización del agua de la Planta de Tratamiento El Troje, permitirá disminuir la concentración de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de los lodos de la planta; así como también se incrementará el tiempo de carrera de filtración de los filtros de la planta mediante la menor producción de lodos y con esto se puede disminuir el consumo de agua de lavado de filtros. El seguimiento de este tema lo realizará el delegado ambiental de la Planta a través de los monitoreos ambientales de las descargas en los que se evaluará la concentración de aluminio residual, sólidos suspendidos totales de las mismas.

### **Impacto de la Propuesta.**

Los impactos tanto técnicos, económicos y ambientales, que se han analizado se producirán con la implementación del diseño de la Planta Productora de policloruro de aluminio, en la Planta de Tratamiento el Troje son representativos y de gran alcance en los distintos niveles así: en el proceso con la optimización de la coagulación, floculación y filtración; ambiental con la disminución de las concentraciones de aluminio residual y sólidos suspendidos totales en las descargas de los lodos y económicos con la disminución de los costos de consumos de productos químicos al disminuir el consumo en dosis de coagulante que a su vez y de acuerdo a las características del consumo de PAC actuará como floculante, por lo cual es importante ejecutar la propuesta cuyo detalle se resume en la siguiente tabla.

Cuadro N° 26: Evaluación del Impacto del diseño

	SITUACIÓN ANTERIOR	PROPUESTA
<b>PROCESOS</b>	Procesos de coagulación y floculación con deficiencias, las cuales incurren en un alto consumo de dosis de sulfato de aluminio y coagulante polímero	Una vez ejecutado el diseño de la Planta Productora de policloruro de aluminio, se obtendrán optimizaciones de los procesos de coagulación floculación, como disminución de dosis de coagulante y suspensión de dosis de floculante, con lo cual se mejora incluso procesos como la filtración debido a la menor producción de lodos, e incremento de la carrera de los filtros.
<b>MONITOREOS AMBIENTALES</b>	En el caso del monitoreo de las descargas del proceso de potabilización de la planta se encuentra que los valores de las concentraciones de aluminio residual y sólidos suspendidos totales son superiores a los valores máximos permisibles.	Con el uso de policloruro de aluminio producido y con la optimización de las dosis del mismo que serán menores a las dosis de sulfato, lo que se obtendrá es la disminución de los valores de las concentraciones de aluminio residual y sólidos suspendidos totales.
<b>ECONOMÍA</b>	La Planta de Tratamiento el Troje, invierte una gran parte de su presupuesto en la provisión de productos químicos para el tratamiento, específicamente en sulfato de aluminio, objeto de estudio de este trabajo.	Una vez implementado y puesto en marcha este diseño se podrán obtener un considerable ahorro en cuanto al consumo de químicos, pues la demanda del floculante disminuirá y la demanda de coagulante se suspenderá, sumados estos rubros representa un gran beneficio económico.

Fuente: Investigación

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo

## **Conclusiones y Recomendaciones.**

### **Conclusiones.**

1. La propuesta de la Factibilidad del Diseño la Planta Productora de Policloruro de Aluminio, es ejecutable.
2. Los costos directos de operación evidencian que el rubro calculado para cubrir la demanda del PAC como coagulante es competitivo respecto al presupuesto asignado para la adquisición del sulfato de aluminio; adicionalmente con el uso del PAC puede eliminarse al floculante lo que permitirá disminuir el valor del presupuesto para el abastecimiento de químicos.
3. La generación de más o menos lodos durante el proceso de coagulación floculación está ligado a la calidad del agua cruda que ingresa a la Planta.
4. En función de los indicadores financieros calculados para la implementación del diseño de este proyecto a un plazo de cinco años y con una inversión inicial de USD 200.000, se determina que el valor del VAN es de USD 57.767,63; una TIR de 18,49% y una Relación Beneficio/Costo de 1,29; evidenciado la ejecutabilidad del proyecto, como se puede observar en el Anexo N° 3.

### **Recomendaciones.**

1. Una vez que se ponga en funcionamiento la Planta Productora de Policloruro de Aluminio, en función del análisis de las mejoras obtenidas con su uso se recomienda ir ampliando la capacidad productiva de la planta.

2. Ejecutar la propuesta de diseño de la Planta Productora de policloruro de aluminio con lo cual se demostrará la eficiencia del uso del PAC, en la Planta de Tratamiento el Troje, en todos los niveles, es decir, técnicos, económicos y ambientales.
3. Realizar el seguimiento en Planta de la cuantificación de lodos generados al aplicar PAC, para verificar que la aplicación de este coagulante genera 3 veces menor cantidad de lodos según los estudios bibliográficos.
4. Realizar una proyección total del análisis de costos que implicaría, ejecutar una propuesta del proceso productivo del policloruro de aluminio para todas las plantas potabilizadoras de la EPMAPS, en función del análisis obtenido para la Planta El Troje.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, L., Cabadinia, S., Cabay, J., Llunda, W., & Tannia, T.** (2013).  
Estratégica de Problemas. En *Estratégica de Problemas* (págs. 1-50).
- Agua, T. d.** (s.f.). [www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf).  
Recuperado el 2014
- Alvarado, C.** (5 de Junio de 2015).  
[https://www.researchgate.net/profile/Carlos\\_Alvarado\\_Almarza...](https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Alvarado_Almarza...)  
Recuperado el 11 de Marzo de 2017
- Ambiental, T. U.** (s.f). Norma de Calidad Ambiental y Descargas de Efluentes:  
Recurso Agua. Ecuador.
- Andia, C. Y.** (2000).  
[http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154). Recuperado el 10 de 2014
- Arboleda, J.** (1961). [www.bysde.paho.org/bvsacd/scan/002554-plantas.pdf](http://www.bysde.paho.org/bvsacd/scan/002554-plantas.pdf).  
Recuperado el 2014 de 16 de Agosto
- Arthur, B. J.** (10 de Agosto de 2014).  
[https://downstream.yfp.com.ar/redxxi/formacioncomercial/b\\_gestion/3gc.html](https://downstream.yfp.com.ar/redxxi/formacioncomercial/b_gestion/3gc.html).
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.** (20 de 09 de 2016). POTABILIZACIÓN CON DIFERENTES COAGULANTES DE ALUMINIO Y HIERRO. (C. Honduras, Editor) Recuperado el 20 de 09 de 2016, de [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf)
- Becerra, R. F.** (s.f.). Taller de Ingeniería de Métodos. Universidad de Colombia.



- Castrillón, B. D.** (s.f.).  
repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3146/.../6281622H565.pdf...  
Recuperado el Noviembre de 2014
- De la Cruz, M. J.** (28 de Noviembre de 2011).  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/877/#sthash.EYEZCHbJ.dpuf>.  
Recuperado el 13 de Agosto de 2014
- Guerra, D.** (2011). [dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1470/UPS-ST000884.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1470/UPS-ST000884.pdf). Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de Descripción de la planta de tratatmiento de agua potable El Troje.
- Gutierrez, L., & Mendez, E.** (s.f.). <http://biblos.uamerica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=30443>. Recuperado el 10 de 2014
- <http://www.quiminet.com/productos/policloruro-de-aluminio-1005158244/precios.htm>**. (s.f.). Recuperado el 06 de Junio de 2016
- Mendoza, J.** (16 de Febrero de 2012).  
[repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/448/1/Jazmím Mendoza.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/448/1/Jazmím%20Mendoza.pdf).  
Recuperado el 11 de Marzo de 2017
- Normalización, I. E.** (2014). Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108 , quinta revsión, quinta. INEN. Recuperado el 01 de Enero de 2014
- OPS/CEPIS/PUB/04.109.** (2008). Tratamiento de agua para consumo humano; Manual I, Teoría Tomo I (Vol. I). Lima.
- Pérez, F., De la Cruz, M., & Urrera, A.** (s.f.).  
[http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf). Recuperado el 10 de 2014

**Programa de Monitoreo Conjunto OMS/UNICEF** para agua potable y saneamiento (Joint Monitoring Program for Water and Sanitation 2010). (s.f.).

**Salud, O. M.** (s.f). Programa de Monitoreo Conjunto OMS/UNICEF. Recuperado el 16 de Agosto de 2014, de Join Monitoring Program for WATER AND SANITATION.

**Salud, O. P. (2008).** Tratamiento de agua para consumo humano (Vol. 1). Lima, Perú. Recuperado el 05 de Mayo de 2015, de Tratamiento de agua para consumo humano.

**Silvan, R.** (s.f).  
[www.journals.unam.mx/index.php/rica/article/download/32535/30332](http://www.journals.unam.mx/index.php/rica/article/download/32535/30332).  
Recuperado el 15 de Agosto de 2014

**Texto Unificado de Legislación Ambiental.** (s.f.). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA. Ecuador.

**Universidad de Colombia, Manizales.** (s.f.). *I*.  
[www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4100002/.../arbol.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4100002/.../arbol.htm).  
Recuperado el 18 de 11 de 2014

**www.disarter-info.net**>Indice>Abastecimiento y Calidad de Agua. (s.f).  
Recuperado el 10 de Diciembre de 2014

**www.uti.edu.ec/documents.** (2011). LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.  
Recuperado el 15 de 11 de 2015

## ANEXOS

**Anexo N° 1: Valores promedio de turbiedad, color y dosis de sulfato año 2014 y 2015**

AÑO 2014							
Mes	TURBIEDAD, (NTU)			COLOR, (u Pt-Co)			DOSIS (mg/L)
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua Tratada	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua Tratada	Sulfato de aluminio
Enero	14,83	2,90	1,30	52	11	4	70,85
Febrero	15,41	2,47	1,19	51	10	5	71,50
Marzo	9,66	2,71	1,41	51	14	7	77,74
Abril	12,9	2,31	0,91	50	11	5	74,35
Mayo	6,57	1,69	0,75	40	11	5	76,01
Junio	0,92	1,58	0,71	29	12	6	70,30
Julio	3,81	1,63	1,17	35	13	7	73,50
Agosto	2,04	1,35	0,85	26	11	6	64,46
Septiembre	2,64	1,38	0,84	25	11	5	62,50
Octubre	5,17	1,39	1,01	29	10	5	67,12
Noviembre							
Diciembre							

AÑO 2015							
Mes	TURBIEDAD, (NTU)			COLOR, (u Pt-Co)			DOSIS (mg/L)
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua Tratada	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua Tratada	Sulfato de aluminio
Enero							
Febrero	8,59	1,91	1,22	41	10	6	67,50
Marzo	4,99	1,55	1,21	30	8	4	70,06
Abril	8,39	2,05	1,29	38	10	5	69,46
Mayo	6,07	1,77	1,2	32	9	5	68,19
Junio	1,65	1	0,78	21	8	4	60,63
Julio							
Agosto	1,33	1,13	0,82	22	8	5	60,32
Septiembre							
Octubre	3,75	1,35	0,99	34	8	5	67,5
Noviembre							
Diciembre							

**Fuente:** Base de datos de Control Diario Planta El Troje

**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

**Anexo N° 2: Cálculo del requerimiento de materias primas para el diseño**

Al2O3		+	3HCL	+	H2O	→	Al2(OH)3Cl3	+	H2O	
Al2	53,96		H	1	H	2	Al	53,96	H	2
O3	48		Cl	35,45	O	16	OH	51	O	16
							Cl	106,35		
	101,96			109,35		18		211,31		18
				229,31 kg					229,31 kg	
									16% Al2O3	
Se requiere preparar				2 ton	1000 kg		solución PAC			
	1000 Kg sln		101,96 Kg Al2O3		444,6 kg Al2O3	al 100 %	60 % pureza comercial		741,1 kg Al2O3	
			229,31 kg sln							
	1000 Kg sln		109,35 kg HCl		476,9 Kg HCl	al 100 %	32% pureza comercial		1490,2 Kg HCl	
			229,31 kg sln							
	1000 Kg sln		18 kg H2O		78,5 Kg H2O					
			229,31 kg sln							
					1000,0 Kg PAC					
								<b>% Bauxita</b>	<b>2309,8</b>	<b>Kg sln PAC</b>
									<b>19%</b>	

**Fuente:** Consumo promedio aproximado de sulfato de aluminio anual en la Planta de Tratamiento El Troje.  
**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

**Anexo N° 3: Cálculo Indicadores Financieros VAN – TIR – Relación Beneficio/Costo**

Concepto	0	1	2	3	4	5
Ingresos		200000,00	200000,00	200000,00	200000,00	200000,00
Costos de Operación y Mantenimiento		142239,00	142239,00	142239,00	142239,00	142239,00
Depreciación		20000,00	20000,00	20000,00	20000,00	20000,00
<b>Utilidad antes de participación e impuestos</b>		37761,00	37761,00	37761,00	37761,00	37761,00
Participación a trabajadores 10%		3776,10	3776,10	3776,10	3776,10	3776,10
<b>Utilidad antes de impuestos</b>		33984,90	33984,90	33984,90	33984,90	33984,90
Impuesto a la renta 22%		7476,68	7476,68	7476,68	7476,68	7476,68
<b>Utilidad neta</b>		26508,22	26508,22	26508,22	26508,22	26508,22
<b>Utilidad en la venta de activos</b>						40000,00
Impuesto a la renta 22%						8800,00
Valor en libros de activos						100000,00
Depreciación		20000,00	20000,00	20000,00	20000,00	20000,00
Inversión Inicial	-200000,00					
<b>Flujo de Fondos con proyecto</b>	<b>-200000,00</b>	<b>46508,22</b>	<b>46508,22</b>	<b>46508,22</b>	<b>46508,22</b>	<b>177708,22</b>
TASA DE DESCUENTO	10%					
VAN	57767,63	142239	AQUÍ NO INCLUYE EL VALOR INICIAL			
TIR		18,49%				
BENEFICIO COSTO		1,29				
PERIODO DE RECUPERACION		1	46508	42280	303363,6364	
		2	46508	38436,36364	341800	
		3	46508	34942,14876	376742,1488	
		4	46508	31765,58978	408507,7385	
		5	177708	110342,6865	518850,425	

**Fuente:** Producción promedio de Policloruro de Aluminio para el diseño propuesto.  
**Elaborado por:** Norma Chicaiza Hidalgo

**Anexo N° 4: Formulario Encuesta aplicada en la investigación**

Fecha:	Sexo		Edad	
Profesión:				
Cargo:				
1.- ¿Cuáles de los siguientes coagulantes utiliza para el tratamiento de aguas, marque con un visto?				
Sulfato de aluminio				
Cloruro Férrico				
Policloruro de aluminio				
2.- ¿Cuál de los siguientes criterios usted utilizaría para seleccionar un coagulante?				
Características físico químicas del agua cruda				
Resultados de pruebas de tratabilidad con cada coagulante				
Disponibilidad en el mercado				
Cantidad de residuos contaminantes presentes en el agua potable				
Cantidad de residuos contaminantes presentes en los lodos de descargas				
Relación costo beneficio				
Todas las anteriores				
3.- Si le ponen a elegir entre utilizar sulfato de aluminio o policloruro de aluminio como coagulante ¿cuál opción elige? Marque con un visto. Fundamente su respuesta en la siguiente línea				
Sulfato de aluminio			Policloruro de aluminio	
4.- Al utilizar policloruro de aluminio como coagulante, el consumo en dosis de este químico sería menor, igual o mayor al consumo de sulfato de aluminio. Marque con un visto. Fundamente su respuesta en la siguiente línea.				
Menor				
Mayor				
Igual				
5.- De su experiencia considera usted que el policloruro de aluminio, dentro del proceso de remoción de turbiedad, genera más o menos lodos que el sulfato de aluminio. Marque con un visto. Marque con un visto				
Más lodos				
Menos lodos				
6.- ¿Considera que al usar sulfato de aluminio en dosis promedio de 60-80 mg/l, se generan lodos y que en su caracterización se evidencia la presencia de aluminio residual y que este exceda los límites permisibles en la Legislación Ambiental? Marque con un visto.				
Si				
No				
7.- ¿Considera que al usar sulfato de aluminio en dosis promedio de 60-80 mg/l, se genera lodos y que, en su caracterización, se evidencia la presencia de sólidos				

suspendidos totales que estos excedan los límites permisibles. Marque con un visto	
Si	
No	
8.- Si se conoce que al usar policloruro de aluminio como coagulante existen ventajas tales como menor generación de lodos y bajas concentraciones de aluminio residual y SST, usted cambiaría de coagulante sulfato de aluminio a policloruro de aluminio. Marque con un visto. Fundamente su respuesta en la siguiente línea.	
Si	
No	
9.- Consideraría usted que la principal desventaja por la que usted no cambiaría el uso del sulfato de aluminio como coagulante a policloruro de aluminio, es el mayor costo del policloruro de aluminio. Marque con un visto su respuesta. Fundamente su respuesta en la siguiente línea.	
Si	
No	
10.- Si la desventaja para no utilizar el policloruro de aluminio es el costo, usted cree que las ventajas del uso del mismo en cuanto a menor consumo de coagulante, menor generación de lodos, cumplimiento de Normativa Legal, equilibran su decisión en el caso que deba cambiar de coagulante sulfato de aluminio. Marque su respuesta con un visto.	
Si	
No	

Fuente: Investigación.

Elaborado por: Norma Chicaiza Hidalgo