

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA ETAPA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN
PARA EL MEJORAMIENTO EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LA
PLANTA GALÁN DE LA EAAAZ**

JHEYSON FABIAN GUZMÁN RIVAS

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTA DE INGENIERIAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA ETAPA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN
PARA EL MEJORAMIENTO EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LA
PLANTA GALÁN DE LA EAAAZ**

JHEYSON FABIAN GUZMÁN RIVAS

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
CAROLINA SILGADO
Ingeniera Ambiental**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTA DE INGENIERIAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

Nota de aceptación

Ing. Edgar Fernando Moreno

Ing. Luis Hernán Vélez

Ing. Oscar Lombana

Bogotá, D.C. Agosto 18 de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. JAIME POSADA DIAZ

Vicerrectora de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESUS HERRERA GUTIERREZ

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos correspondientes únicamente al autor.

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico principalmente a Dios por haberme dado la fuerza y constancia de nunca haber desfallecido en esta dura carrera, por darme la bendición de haber culminado este trabajo de investigación a pesar de tantos baches y nunca dejarme solo, también es dedicado a mis padres, sin ellos nada de esto hubiera sido posible desde el primer día en que entre a esta gran universidad y que ahora amo como mi alma mater, también a mis hermanos Rotmy, Hernando y la hermosa Johana por darme tanto apoyo y la motivación de que esto podría ser real, como el poder luchar por mis sueños.

Jheyson Guzmán

AGRADECIMIENTOS

A la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá por darme la oportunidad de haber realizado este trabajo, por sus recursos y darme la disposición de poder trabajar y aumentar mis capacidades en el ámbito laboral, como también a la EAAAZ por la confianza y de manera especial a los ingenieros Manuel Umbarila director de agua potable y a la Jefe de laboratorio ingeniera Carolina Silgado por su comprensión, apoyo y tiempo dedicado al seguimiento del presente trabajo, a los técnicos de la planta Galán Juan de Dios y Carlos por enseñarme que de la teoría a la práctica hay un amplio rango diferenciador por su comprensión y ayuda, gracias.

De igual manera, en especial le agradezco al Ingeniero Fernando Moreno por su continuo interés, por su colaboración y guía durante el desarrollo de este proyecto; a todos, muchas gracias.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
1. GENERALIDADES	19
1.1 EMPRESA DE ACUEDUCTO, ASEO Y ALCANTARILLADO DE ZIPAQUIRA EAAAZ	19
1.1.1 Fuentes de abastecimiento hídrico	19
1.1.2 Captación y aducción para municipio	20
1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO CONVENCIONAL GALÁN	22
1.2.1 Aireación	22
1.2.2 Mezcla rápida	22
1.2.3 Floculación	23
1.2.4 Sedimentación	23
1.2.5 Filtración	23
1.2.6 Desinfección	23
2. MARCO TEORICO	24
2.1 AGUA	24
2.1.1 Agua potable	24
2.1.2 Calidad del agua	24
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE	24
2.2.1 Características físicas	25
2.2.2 Características químicas	27
2.2.3 Características biológicas	29
2.3 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN	29
2.3.1 Coagulación	30
2.3.2 Floculación	32
2.3.3 Prueba de jarras	32
3. MARCO LEGAL	33
4. DIAGNÓSTICO ACTUAL	37
4.1 INFORME TÉCNICO	37
4.2 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA EN LA PLANTA GALÁN	39
4.3 DIAGNÓSTICO OPERATIVO	43
4.3.1 Estructura de llegada	43
4.3.2 Cámara de medición y mezcla rápida	44
4.3.3 Floculadores	46
4.4 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA	47

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	51
5.1 OPCIÓN DE INSUMOS	51
5.1.1 Opción de coagulantes	53
5.1.2 Selección de floculante	56
6. EXPERIMENTACIÓN	58
6.1 IDENTIFICACIÓN DE ANÁLISIS EN EL TEST DE JARRAS	58
6.2 ANÁLISIS AGUA POTABLE	58
6.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVA	63
6.3.1 Evaluación de coagulante	63
6.3.2 Evaluación de floculante	64
6.4 ENSAYO DE JARRAS	64
6.4.1 Determinación de dosis óptima de coagulante PAC PRO Líquido	65
6.4.2 Determinación de dosis optima de floculante polímero aniónico POLIFLOC 2111	66
6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
6.6 PROCESO DE LA ALTERNATIVA	67
6.6.1 Dosis adecuada Policloruro de aluminio líquido (PAC PRO)	68
6.6.2 Dosis adecuada de Polímero Aniónico (POLIFLOC 2111) + (PAC PRO a 16 ppm)	69
7. BALANCE DE MATERIA	71
8. ANÁLISIS DE VIABILIDAD FINANCIERA	73
9. CONCLUSIONES	76
10.RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	81

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Promedios históricos	82
Anexo B. Fichas de seguridad	84
Anexo C. Métodos analíticos	88
Anexo D. Preparación de reactivos	92
Anexo E. Dosis óptima para la planta Galán	94
Anexo F. Cotizaciones para PAC PRO y PAC 03	95

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Caudal concesionado y caudal captado por fuente	20
Tabla 2. Características físicas del agua para consumo humano	34
Tabla 3. Características químicas con efectos nocivos sobre la humanidad	35
Tabla 4. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana	35
Tabla 5. Características químicas con mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana	36
Tabla 6. Características microbiológicas de agua para consumo humano	36
Tabla 7. Condiciones del Agua cruda planta Galán	38
Tabla 8. Caracterización fisicoquímica	48
Tabla 9. Test de jarras utilizando PAC 03	50
Tabla 10. Insumos requeridos para tratamiento de aguas	51
Tabla 11. Comparación de coagulantes en el tratamiento de aguas	52
Tabla 12. pH de trabajo para coagulantes	53
Tabla 13. Consideraciones para selección de coagulante	53
Tabla 14. Dosis recomendadas para coagulantes y floculantes	55
Tabla 15. Condiciones de operación del equipo	65
Tabla 16. Materiales, equipos e insumos químicos utilizados	65
Tabla 17. Resultados para concentraciones de 5 a 50 mg/L	68
Tabla 18. Resultados para concentraciones de 11 a 16 ppm	69
Tabla 19. Determinación de dosis adecuada de POLIFLOC 2111 y PAC PRO	70
Tabla 20. Balance de materia para los reactivos utilizados y el hierro en solución	72
Tabla 21. Dosificación de los insumos empleados a escala laboratorio	73
Tabla 22. Dosificación diaria de los insumos a escala planta	73
Tabla 23. Costo de insumos químicos	74
Tabla 24. Costos de insumos actuales	75
Tabla 25. Consolidado de costos	75
Tabla 26. Promedios históricos para el agua cruda	82
Tabla 27. Promedios históricos para el agua potable en la planta Galán	83
Tabla 28. Determinación del índice de Willcomb	91

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fuente de captación Río Frio para la planta Galán	21
Figura 2. Requerimientos legales nacionales para el agua potable	34
Figura 3. Vista panorámica de la planta de tratamiento Galán	37
Figura 4. Unidad de mezcla rápida	39
Figura 5. Unidades de floculación y sedimentación	40
Figura 6. Sedimentador convencional y tipo colmena	41
Figura 7. Flujograma de procesos en Planta Galán	42
Figura 8. Etapas de evaluación técnica en la planta Galán	43
Figura 9. Canaleta Parshall de la planta Galán	43
Figura 10. Dosificación de insumos al agua cruda (1 dosificación PAC 03)	45
Figura 11. Especificaciones para las etapas de Coagulación y floculación	46
Figura 12. Diagrama de flujo para las etapas de coagulación y floculación	49
Figura 13. Reactivos utilizados para la experimentación	57
Figura 14. Equipo de experimentación para ensayo de jarras	64
Figura 15. Flujograma para dosis óptima de PAC PRO	66
Figura 16. Cantidades de PAC 03 actualmente utilizados en planta Galán	74
Figura 17. Turbidímetro Merck Turbiquant 1500T	88
Figura 18. Unidad (visual) de medición de color	89
Figura 19. Fotómetro Merck	89
Figura 20. Titulación para determinación de Alcalinidad	90
Figura 21. pHmetro	91

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Porcentajes de Remoción para turbiedad y color	49
Gráfica 2. Variación de pH para agua cruda y tratada	59
Gráfica 3. Variación de UPC para agua cruda y tratada	60
Gráfica 4. Variación de UNT para agua cruda y tratada	60
Gráfica 5. Variación de hierro soluble para agua cruda y tratada	61
Gráfica 6. Variación de Alcalinidad para agua cruda y tratada	61

GLOSARIO

ADUCCIÓN: lugar donde se transporta el caudal de la fuente superficial a la planta de tratamiento.

AGUA CRUDA: agua que no ha sido sometida a ninguna clase de tratamiento, primario, secundario o terciario.

AGUA POTABLE: agua que reúne los requerimientos físicos, químicos, organolépticos y microbiológicos, que cumplen los estatutos de la Resolución 2115 de 2007, que puede ser apta para consumo humano sin causar efectos nocivos a la salud de las personas.

ALCALINIDAD: capacidad del agua para neutralizar los ácidos. esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos ($\text{CO}_2\text{-CO}_3^-$), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA: análisis o pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar características tanto físicas como químicas.

CAUDAL DE DISEÑO: caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

COAGULANTES: sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

COLOIDES: sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.

DOSIFICACIÓN: operación en la cual se suministra un aditivo químico al agua.

DOSIS ADECUADA: concentración de un insumo, aditivo o sustancia que genera mayor eficacia y en algunos casos eficiencia de reacción durante un proceso químico.

FLOCULACIÓN: aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

MEZCLA LENTA: agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos.

MEZCLA RÁPIDA: agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

PRUEBA DE JARRAS: ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

SÓLIDOS DISUELTOS: mezcla de un sólido (soluto) en un líquido solvente en forma homogénea.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

SOLUBILIDAD: capacidad de una sustancia o soluto de mezclarse homogéneamente en un solvente para unas condiciones de presión y temperatura específicas.

TURBIEDAD: propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

RESUMEN

Para la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá (EAAAZ) poder abastecer de agua potable a cerca de un tercio de la población del municipio utiliza como aducción de agua superficial al río Frio en su mayor parte y como respaldo las fuentes de las quebradas el Borrachero, la Hoya y la Artesa; las cuales llegan a la planta Galán para poder tener los debidos tratamientos necesarios y garantizar el suministro hídrico a la población, donde se efectúan las etapas de coagulación, floculación, filtrado, desinfección y estabilización de pH con el fin de obtener un agua de buena calidad y que conlleven al cumplimiento de las normas establecidas nacionales como son la resolución 2115 de 2007 para agua potable.

Para poder cumplir con el desarrollo de la evaluación técnica de las etapas coagulación-floculación aplicadas en la planta Galán de la EAAAZ se ha inspeccionado el funcionamiento actual de la planta, junto con la información pertinente suministrada por la empresa se realiza un diagnostico general de las etapas de proceso para la potabilización del agua cruda junto con especificaciones técnicas de los equipos y dosificaciones actuales utilizadas por la empresa.

Se plantea la evaluación de una sal de aluminio como el policloruro de aluminio PAC PRO como coagulante químico con el fin de mejorar las especificaciones necesarias para la dosificación de estos gracias a un estudio teórico; empleado actualmente por la planta Galán el coagulante policloruro de aluminio PAC 03, estos dos se evalúan mediante simulaciones y procedimientos experimentales tomando el agua cruda como índice de afluente del agua para saber las condiciones fisicoquímicas que tiene ésta a la entrada de la planta y seguido someterla al ensayo de jarras con la alternativa propuesta para poder así determinar las características fisicoquímicas finales que puedan ayudar a mejorar la dosificación de estos coagulantes y floculantes que aumenten la eficiencia del sistema de estas dos etapas del tratamiento utilizado en la planta Galán.

Finalmente se realizará una estimación financiera a cada una de las alternativas propuestas, mediante un balance de materia diario en función del caudal de diseño, el cual especificara las necesidades de materias primas e insumos utilizados para la potabilización del agua llevada a cabo en estas etapas (coagulación-floculación) y poder mejorar el coste de estas mismas en pro de la PTAP Galán.

Palabras clave: (potabilización, tratamiento, coagulación, floculación, sal de aluminio, fisicoquimicos)

INTRODUCCIÓN

La empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá (EAAAZ) cuenta con tres plantas de tratamiento de agua para potabilización (PTAP) y distribución de agua al municipio, las cuales están ubicadas en diferentes partes de este, como son la planta regional, planta alto del Águila y la planta Galán, cada una de ellas con un caudal de 120, 20 y 50 litros por segundo respectivamente, donde la EAAAZ cumple con todos los estándares de regulación y saneamiento por parte del estado como los expuestos en la resolución 2115 de 2007 para agua potable; la planta Galán está ubicada a tres kilómetros del municipio donde es la responsable de la calidad y suministro del recurso hídrico para los barrios altos.

Actualmente la EAAAZ utiliza en sus plantas el policloruro de aluminio como coagulante PAC 03 y el POLIFLOC 2111 como agente de floculación. Para la evaluación técnica de estas dos etapas se contempla el análisis del coagulante PAC PRO líquido para mejorar la etapa de coagulación donde se desestabilizan los coloides y material particulado los cuales son adicionados al agua cruda en la mezcla rápida, seguidamente condicionados con el ayudante de coagulación o floculante en el cual la empresa de acueducto y alcantarillado de Zipaquirá utiliza el POLIFLOC 2111 con el fin de mejorar las formaciones de los flocs disminuyendo el tiempo de sedimentación de todos estos coloides y material suspendido con que cuenta el agua cruda.

Esta evaluación técnica pretende analizar el PAC PRO líquido y el POLIFLOC 2111 planteado en cuanto a los insumos requeridos para las etapas de coagulación y floculación como parte de los procesos para una adecuada potabilización del agua y mejorar las ventajas de estos, esperando mejoramientos económicos y sobre la calidad del recurso hídrico con respecto a las normativas nacionales, lo cual repercute en una mayor conformidad en los usuarios del agua potable.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el mejoramiento de la etapa coagulación-floculación para el proceso de la PTAP Galán.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar los parámetros del proceso fisicoquímico actuales de la planta Galán.
2. Seleccionar la dosificación coagulante-floculante más adecuada para la potabilización en la planta Galán.
3. Estimar la viabilidad financiera del proceso de mejoramiento en la PTAP Galán.

1. GENERALIDADES

1.1 EMPRESA DE ACUEDUCTO, ASEO Y ALCANTARILLADO DE ZIPAQUIRA EAAAZ

Para la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá (EAAAZ) es de vital importancia sus fuentes de abastecimiento de agua cruda para poder generar un servicio de calidad en cuanto a los tratamientos utilizados en ésta, para lo cual la empresa cuenta con tres plantas de potabilización (PTAP) ubicadas en la periferia del municipio de Zipaquirá. Se cuenta con la planta regional ubicada en el municipio de Cogua, la cual cuenta con dos subplantas que tienen un caudal de entrada de 180 L/s para una planta convencional y otra compacta (Degremont) de caudal de 173 L/s, la planta regional suministra agua a los municipios de Cogua, Nemocón y Zipaquirá, este último en un aproximado del setenta por ciento, el restante treinta por ciento a las otras dos plantas potabilizadoras de la EAAAZ como son la planta Alto del Águila con un caudal de afluente de 20 L/s suministrando agua a la vereda Alto del Águila ubicada a aproximadamente a 4 kilómetros del casco urbano y terminando con la planta Galán la cual tiene un caudal de diseño de 50 L/s, esta última ubicada a dos kilómetros del casco urbano en la parte alta del municipio abasteciendo de agua un estimado de veinticinco por ciento de los barrios altos del mismo, siendo la planta Galán la PTAP a la que se le desarrollará la evaluación técnica objeto de estudio de esta propuesta de grado.

1.1.1 Fuentes de abastecimiento hídrico. Para el municipio de Zipaquirá el cual cuenta con una población cercana a los ciento veinticinco mil habitantes tiene seis fuentes de abastecimiento con un caudal de 221,79 L/s y un mensual de 574.879 m³. La fuente de mayor importancia es el Río Neusa debido al caudal aportado 78,76% del total utilizado por el municipio, su aporte constante y de calidad.¹ Sin embargo las demás fuentes son de gran ayuda al sistema debido a que alimentan la parte alta del municipio por gravedad.

En la tabla 1 se encuentran los caudales concesionados comparado con los caudales captados, además se encuentra que la zona alta es alimentada por las cuencas del Río Frio y Río Negro junto a la zona media y baja del municipio es abastecida por la cuenca del Río Neusa.

¹ NORATTO, Gustavo Elías, (Estudios y diseño para la optimización de las plantas de agua potable de los municipios de Zipaquirá, Cogua y Nemocón) E.A.A.A.Z-E.S.P. Bogotá. 2003.

Tabla 1. Caudal concesionado y caudal captado por fuente

Zona	Cuenca	Fuente de abastecimiento	Caudal concesionado L/s	Caudal captado L/s	Caudal captado m ³ /año
ALTA	Río Frio	Río Frio	16, 17	12	378.432
		Q. la Hoya	4	6	189.216
		Q. El Borrachero	13	18	567.648
		Q. El Clavel	11	15	473.040
ALTA	Río Negro	Q. La Arteza	2,92	2	63.072
Media y Baja	Río Neusa	Río Neusa	222,06	355	11.195.280
TOTAL					12.866.280

Fuente: Empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá. Disponible en: Programa de uso eficiente y ahorro de agua para Zipaquirá. Citado el 14 de marzo de 2017.

1.1.2 Captación y aducción para municipio. El sistema de abastecimiento del municipio de Zipaquirá tiene dos componentes, el primero viene del Río Neusa (aguas abajo de la descarga de fondo del embalse del Neusa) y conforma el Acueducto Regional Zipaquirá – Cogua y Nemocón, que posee una infraestructura para lograr abastecer a estos municipios. El segundo sistema viene desde el Río Frío y unas quebradas aportantes que a través de aducciones transportan el agua hasta la planta Galán y Alto del Águila.

Para el abastecimiento de la planta Galán su principal fuente es el Río Frío mostrado en la figura 1; este nace en el cerro Carrasposo en el páramo de Guerrero, al nororiente del municipio de Zipaquirá a una elevación de 3400 metros. Los principales afluentes son las quebradas el Guerrero, el Muerto, La Blanca, Santa Librada, la Honda, la Hoya, el Borrachero, el Clavel y el Tibar, como se muestra en la tabla 1 para las zonas altas del municipio las cuales son las abastecidas por la planta Galán.²

El municipio de Zipaquirá recibe la mayor cantidad de agua potable entre los municipios mencionados, se encuentra en la sabana centro del país a una altura de 2650 metros sobre el nivel del mar y a una temperatura promedio de 14 °C y una superficie aproximada de 197 Km². El casco urbano cuenta con 8 Km² y el balance de superficie lo es rural donde generalmente se llevan actividades agrícolas, ganaderas y mineras.

² ALCALDIA DE ZIAPAQUIRA-CUNDINAMARCA. [en línea] <http://www.eaaaz.com.co/index.php/2-uncategorised/108-captación-y-aducción.html> [Citado el 12 de febrero de 2017]

Figura 1. Fuente de captación Río Frio para la planta Galán



Fuente: Empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá. [En línea]. Disponible en: www.eaaaz.com.co/. Citado el 12 de febrero de 2017

El municipio cuenta con uno de los páramos más grandes del mundo como lo es el páramo de Guerrero el cual alimenta a municipios aledaños como Pacho y Tausa principalmente y da origen al Río Frio y las microcuencas hídricas más importantes para la sabana centro del País.³

La empresa de acueducto alcantarillado y aseo de Zipaquira EAAAZ presta el servicio de agua potable al 100% de la población del casco urbano y al 10% de la población rural. El acueducto cuenta con un suministro de buena calidad cumpliendo con el decreto 475 de 1998 de forma continua. La demanda de agua potable del casco urbano es servida a partir de subsistemas de captación, los cuales agrupan las fuentes hídricas de tipo superficial en donde estas fuentes se consideran de calidad aceptable.

Para la fuente de mayor caudal utilizado por la planta Galan el Río Frio presenta condiciones de calidad regulares debido a la afectación que sobre la misma tienen las actividades agropecuarias aguas arriba del punto de captación, incidiendo en niveles altos de turbiedad, color, presencia de aluminio y pH bajo, contaminación bacteriológica entre otros aspectos. La aducción posee una capacidad de 35 L/s y una longitud de 100 metros desde la bocatoma hasta el desarenador.⁴

Las otras fuentes de menor caudal pero sin dejar de ser importantes para el abastecimiento de agua cruda de la planta Galán como lo son las quebradas La Hoya, La Arteza, El Clavel y El Borrachero se consideran de condiciones aceptables, donde todas estas tienen implementadas sus respectivos

³ ZIPAQUIRA TURISTICA. Nuestra historia [En línea] <http://zipaquiraturistica.com/zipa/index.php/es-ES/>[Citado 12 de febrero de 2017]

⁴ PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA DE LA EAAAZ-ESP.2003.Zipa. p. 18.

desarenadores, con buenos resultados en la retención de material particulado para cumplir con el tratamiento preliminar antes de llegar a la planta por un sistema de gravedad la cual es muy bueno para la planta ahorrándose los sistemas de bombeo mecánico.

Todas las fuentes mencionadas que suministran el agua cruda a la planta Galán están legalizadas por la corporación autónoma regional CAR No. 166 del 2004 como lo es también los parámetros de control según la normativa vigente del decreto 475 de 1998 los cuales en la actualidad se encuentran dentro de los rangos admisibles a través de mecanismos convencionales (sedimentación, coagulación, floculación y filtración).

1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO CONVENCIONAL GALÁN

Construida hace cincuenta años, trata un caudal de 40 a 50 L/s aproximadamente medidos por medio de la canaleta parshall ubicada en seguida de la cascada de aireación para el agua cruda en la entrada de la planta. Se encuentra provista de cuatro bombas dispuestas para el lavado de filtros y el tanque de lavado, dos de ellas de operación permanente y las dos restantes de reserva para cuando las dos principales llegasen a presentar fallas o se encuentren en mantenimiento sin descartar las necesidades de la planta. El agua llega por gravedad a la planta de tipo convencional, donde se realizan los siguientes procesos.

1.2.1 Aireación. Proceso en que el agua pasa por una pequeña cascada de dos metros de altura con el fin de que entre en contacto con el aire para oxigenarla o de excluir gases y sustancias volátiles del cuerpo hídrico.⁵

1.2.2 Mezcla rápida. En esta etapa hay una agitación violenta para producir una dispersión instantánea del policloruro de aluminio (PAC 03), producto químico en disolución que se dosifica actualmente en la planta Galán en la masa de agua gracias a la estructura que genera el resalto hidráulico necesario para la adición del PAC en el caso de la planta Galán es la canaleta parshall.

En esta fase de la coagulación se tienen en cuenta los mecanismos de esta etapa como:

- Compresión de la doble capa iónica.
- Adsorción y neutralización de cargas
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

⁵ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS. Título C. Bogotá. 2000. p. 22. [En línea]
<<http://www.minprotecciónsocial.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=16364&IDCompany=3>>
[Citado el 10 de Marzo de 2017].

1.2.3 Floculación. Esta etapa posterior a la coagulación, consiste en permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar su tamaño y poder precipitar más rápidamente, es una de las etapas enfatizadas del presente trabajo junto con la mezcla rápida, donde el agua coagulada por la acción del coagulante es conducida a un canal de repartición a través del cual se distribuye a las quince unidades de floculación hidráulica.

1.2.4 Sedimentación. Durante esta etapa en la potabilización del agua, la planta Galán cuenta con un sistema de dos sedimentadores uno convencional y otro tipo colmena, el sistema cuenta con una placa inclinada donde el agua floculada está dispuesta en un sedimentador con secciones de baja y alta tasa de caudal.

1.2.5 Filtración. La planta Galán está compuesta de dos filtros cuyo lecho lo constituyen gravas ricas en cuarzo, arenas y antracita por el cual pasa el agua que ya ha sido sedimentada; la EAAAZ implementa lavados de los filtros cada 48 horas vertiendo el agua de este proceso directamente a la quebrada.⁶

1.2.6 Desinfección. Es la etapa final que se lleva a cabo en la planta Galán donde el agua filtrada pasa a una cámara de contacto ubicada a la salida de los filtros, durante este proceso se realiza utilizando cloro gaseoso.

⁶ PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA DE LA EAAAZ-ESP.2003.Zipa. p. 28.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 AGUA

Este valioso recurso natural y de gran importancia para la subsistencia de la vida es un fluido el cual es incoloro, inodoro y sin sabor, conocido en el mundo como el disolvente universal como es sabido es el recurso número uno en todo el desarrollo de cualquier industria.

Es el recurso natural que compone el 75 % del planeta tierra donde podemos apreciar que aun siendo el de mayor porcentaje en el globo es muy poca el agua que o las personas a las que tienen acceso a ésta, sabiendo que es un recurso vital que debe ser protegido por la humanidad. Para que este recurso no renovable sea preservado y distribuido a las personas debe estar apta para el consumo y llevar una serie de procesos o tratamientos con el fin de tener un líquido que cumpla con todos los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos establecidos en la ley colombiana.

2.1.1 Agua potable. Es aquella que puede reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

2.1.2 Calidad del agua. Este concepto está ligado a las propiedades físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua donde esta puede verse alterada por los compuestos y sustancias tóxicas que se puedan encontrar en el agua. El agua puede utilizarse para diferentes fines como lo es a nivel industrial, agropecuario, doméstico o como insumo de diferentes productos, dándose el principal uso como fin de este proyecto para el consumo humano; con lo que el recurso debe contener unos parámetros reglamentarios según lo contenga la norma vigente del país y así pueda tener una excelente calidad para evitar enfermedades en la población consumidora.⁷

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

Según la interpretación sobre la calidad del agua se necesitan tener en cuenta los parámetros fisicoquímicos que se deben tener para su consumo como para su tratamiento.

⁷ BIBLIOTECA DIGITAL ILCE. El agua y la vida [En línea] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec_6.html [Citado el 17 de Febrero de 2017].

2.2.1 Características físicas. Son las características del recurso hídrico que tienen que ver con los sentidos y podemos apreciar con la vista para saber la turbiedad que esta presenta, gusto a fin de tener una noción que sea insabora y olfato para que sea inodora, entre las características que se reglamentan para un agua de calidad se encuentran los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

2.2.1.1 Turbidez. Es la propiedad óptica del agua que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través del cuerpo de agua a consecuencia de la presencia de material insoluble suspendido, coloides y material particulado.

Esta propiedad física se mide con un turbidímetro y sus resultados se expresan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), actualmente es el método más usado por ser el más sensible y preciso.⁸

2.2.1.2 Color. En el agua se reconocen dos tipos de color: el color verdadero, que se presenta cuando se ha removido la turbidez y el aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales pero que intervienen también el material suspendido.

El color no sólo se da por la presencia de materiales de origen vegetal (ácidos húmicos, turba, plancton) o de metales (hierro, manganeso, cobre y cromo). Las unidades en las que se expresa el color son llamadas de platino-cobalto (UPC) las cuales es el color producido por un (1) mg/L de platino, en la forma de ión cloroplatino.⁹

2.2.1.3 Olor y sabor. Al momento de distinguir olores y sabores indeseables en el agua son varias, donde las más comunes son debidas a la presencia de material orgánico en solución, sustancias químicas, algas, hongos entre otros.

El método más usado para expresar la concentración de éstos consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor y el sabor son apenas detectables, donde el valor de dicha relación se expresa como número detectable (ND) de olor o sabor.¹⁰

⁸ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad Del Agua. Tercera edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. p.68. ISBN 9789588060.

⁹ Ibíd., p. 69.

¹⁰ Ibíd., p. 70.

2.2.1.4 Temperatura. Es una de las variables que influyen determinadamente en los procesos de potabilización calidad del agua, donde hay una relación inversa con esta debido a que al aumentar esta propiedad disminuye el oxígeno disuelto lo cual acelera los procesos de putrefacción. Para determinar la temperatura se utiliza un termómetro de mercurio que se encuentre en un buen estado para que no interfiera en la medición.¹¹

2.2.1.5 Sólidos. Se clasifica como toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos como materia sólida que pueden interferir en las diferentes etapas del proceso de potabilización del agua. Los sólidos se clasifican en:

- **Sólidos totales.** Es la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 °C donde se incluye tanto material disuelto como no disuelto (sólidos suspendidos).
- **Sólidos suspendidos.** Esta clase de sólidos son determinados por filtración atmosférica en un cono imhoff al verter un determinado volumen en él donde se encuentra un medio filtrante el cual generalmente es papel filtro; también son conocidos como residuo no filtrable o material no disuelto.
- **Sólidos disueltos.** Son una fracción de los sólidos totales presentes en el agua, compuestos en su mayoría por material coloidal, sales inorgánicas de calcio, manganeso, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, como también en pequeñas trazas de material orgánico disuelto. Estos sólidos disueltos se determinan por filtración o cuantitativamente por la diferencia entre los sólidos totales y los suspendidos.
- **Sólidos sedimentables.** Son sólidos que están en suspensión y sedimentan por la acción de la gravedad.¹²

2.2.1.6 Conductividad. La conductividad del agua es producida por los electrolitos que lleva disueltos, donde los iones en mayor cantidad que forman las sales disociadas en el agua suelen ser, HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ , dependiendo así de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura. La medición de la conductividad en aguas se lleva a cabo mediante instrumentos comerciales de lectura directa en $\mu mho/cm$ a 25 °C, con un error menor al 1%.¹³

¹¹ Ibíd., p 71.

¹² MICROLAB INDUSTRIAL. Los sólidos en el agua. [En línea] <http://www.microlabindustrial.com/blog/los-solidos-en-el-agua>. [Citado el 17 de febrero de 2017]

¹³ BUSTOS MONTAÑO, Viviana, (Propuesta de mejoramiento de la línea de insumos del proceso de tratamiento de agua potable en la planta regional de la EAAAZ). Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2016. p. 26.

2.2.2 Características químicas. Estas propiedades del agua se relacionan con la capacidad de disolver sustancias químicas donde una de las principales son la alcalinidad, dureza, materia orgánica, metales disueltos y otra clase de nutrientes. Los compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial, y de acuerdo a su composición y concentración son beneficiosos o dañinos para las personas que la consumen.¹⁴

2.2.2.1 Alcalinidad. Es la capacidad para neutralizar ácidos, reaccionar con iones hidrogeno (H^+), aceptar protones o la medida del contenido total de sustancias o la medida del contenido total de iones hidroxilo (OH). Es causada por la presencia de 3 clases de compuestos: bicarbonatos, carbonatos, e hidróxidos; y en trazas menores de boratos, silicatos, fosfatos, entre otros. La alcalinidad es medida por la titulación de una alícuota de una muestra con ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) utilizando indicadores como la fenolftaleína, metil naranja o metacresol, donde su valor se expresa como la concentración equivalente de $CaCO_3$ en mg/L.¹⁵

2.2.2.2 Acidez. Es la capacidad para neutralizar bases, reaccionar con iones hidroxilo (OH), ceder protones o la medida del contenido total de sustancias ácidas. La causa principal de esta propiedad es el contenido de CO_2 disuelto como resultado de las reacciones químicas entre los químicos usados en el proceso de coagulación, como también de la oxidación de materia orgánica o también por la disolución del CO_2 atmosférico. La acidez se expresa en miliequivalentes por gramo (meq/g) de hidrogeno.¹⁶

2.2.2.3 Potencial de hidrogeno "pH". Mide el carácter ácido, básico o neutro de una solución ya sea a partir del uso de indicadores, papel filtro indicador o de la forma más común con el instrumento como es el pH-metro, donde su valor depende de la concentración molar de iones hidronio H_3O^+ y se calcula por medio del logaritmo en base 10 de la concentración de H_3O^+ .

2.2.2.4 Dureza. Es causada por cationes divalentes y sales disueltas, donde en la mayoría de las aguas se considera dureza total que es aproximadamente igual a la dureza producida por los cationes calcio y magnesio. La dureza del agua se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro y tiene en cuenta la determinación de nitratos, sulfatos, cloruros, fluoruros, metales, sílice, fósforo, hierro y manganeso.¹⁷

¹⁴ BUSTOS MONTAÑO, Viviana, (Propuesta de mejoramiento de la línea de insumos del proceso de tratamiento de agua potable en la planta regional de la EAAZ). Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2016. p.26.

¹⁵ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad Del Agua. Tercera edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. p. 119. ISBN 9789588060

¹⁶ *Ibíd.*, p. 123.

¹⁷ *Ibíd.*, p. 130.

2.2.2.5 Cloruros. En las aguas superficiales el cloro se presenta como ión cloruro (Cl^-) en solución. La presencia de este componente se debe al poder disolvente del agua que introduce los cloruros de la capa vegetal, al contacto con aguas residuales y vertimientos industriales, donde la presencia de altas concentraciones de este compuesto le da un sabor salado al agua y un aumento de la velocidad de corrosión de los metales.¹⁸

2.2.2.6 Sulfatos y sulfuros. El sulfato SO_4^{2-} se encuentra en forma natural en las aguas superficiales y puede provenir del lavado de los compuestos minerales azufrados, rocas sedimentarias (yeso y pirita) y de la deposición atmosférica. Siendo éste la forma más estable del azufre, soluble en el agua (a excepción de las sales de plomo, bario y estroncio).

La formación de sulfuros en las aguas superficiales se da por procesos anaeróbicos, en los que las bacterias usan el sulfato como fuente de oxígeno y lo convierten en sulfuro de hidrógeno (H_2S , HS^-). A altas concentraciones de sulfuros se presentan olores fuertes indeseables y condiciones tóxicas, que hacen inadecuada el agua para el consumo humano y otros usos.¹⁹

2.2.2.7 Oxígeno disuelto “OD”. El análisis de oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto (O_2) en una solución acuosa. El oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla, por aeración (movimiento rápido) y como un producto de desecho de la fotosíntesis.

Es de carácter importante en la autopurificación de los ríos que depende de la concentración y estabilidad del material orgánico en el agua. Son valores bajos y disminuyen con la temperatura. El contenido de oxígeno de las aguas naturales varía con la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética y la presión atmosférica.²⁰

2.2.2.8 Demanda bioquímica de oxígeno “DBO”. Es la cantidad de oxígeno que se necesita para que los microorganismos aerobios puedan oxidar la materia orgánica presente en el agua. Casi siempre se mide como DBO_5 , que significa la variación del oxígeno disuelto determinado al cabo de cinco (5) días en condiciones estándar, proporcionando una idea del carbono orgánico biodegradable existente en la muestra de agua.²¹

¹⁸ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad Del Agua. Tercera edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. p. 156. ISBN 9789588060

¹⁹ *Ibíd.*, p. 149.

²⁰ *Ibíd.*, p. 173.

²¹ *Ibíd.*, p. 175.

2.2.2.9 Demanda química de oxígeno “DQO”. Es un factor determinante que mide el material orgánico que se encuentra en la muestra líquida mediante la oxidación química (dicromato de potasio). La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno.²²

2.2.3 Características biológicas. En el agua coexisten una gran variedad de microorganismos que necesitan tanto oxígeno como alimento para poder vivir, donde pueden originarse de forma natural o por vertimientos industriales que ocasionan la generación de otras especies y/o mutaciones. En el agua se pueden encontrar demasiados organismos vivos que podrían ser incalculables, donde las especies más nombradas dentro de los cuerpos de agua se encuentran las algas ubicadas principalmente en los océanos, lagos, lagunas, embalses donde se encuentran la mayor concentración de algas; otras especies como las bacterias.²³

Los hongos, mohos y levaduras son bacterias que no contienen clorofila y normalmente son incoloras, utilizan la materia orgánica presente en el agua como fuente de nutrientes para su subsistencia. Un gran número de organismos microscópicos que flotan en el agua reciben el nombre genérico de plancton, los cuales son de gran importancia a la hora de dar un veredicto sobre la calidad del agua.²⁴

2.3 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

Para el tratamiento de aguas superficiales con fines de potabilización desde tiempos de antaño se han basado en principios fundamentales como preservar la salud de los consumidores, aun sabiendo que las fuentes de abastecimiento para de municipio de Zipaquirá son de buena calidad en cuanto el recurso hídrico no se descartan los contaminantes y compuestos que contienen estas fuentes ya sean sustancias orgánicas e inorgánicas, donde la presencia de estas impurezas en el agua cruda varían según su recorrido antes de llegar a la planta de tratamiento Galán, como pueden influir los sectores agrarios, pecuarios e industriales aguas arriba en el tratamiento de purificación del recurso hídrico. Por esta razón las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) han sido diseñadas con el fin de mejorar la calidad y eficiencia de sus procesos antes de ser distribuida a la población; dando pie a procesos de investigación y evaluación como el presentado en este trabajo el cual se enfoca en las etapas de coagulación y floculación que presenta la planta Galán para la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá.

Las etapas de coagulación y floculación presentes en el tratamiento de potabilización del agua se centran en disminuir la turbidez con la remoción de

²² *Ibíd.*, p.186.

²³ *Ibíd.*, p.212.

²⁴ *Ibíd.*, p.214.

sólidos, coloides y material particulado con lo que aumenta la eficiencia de las etapas en la clarificación y purificación del agua para beneficio de la planta como de los consumidores.

2.3.1 Coagulación. Para esta etapa del tratamiento de aguas superficiales llevada a cabo por la EAAAZ es una de las más importantes debido a que es la que remueve más cantidad de sólidos y disminuye en mayor porcentaje la turbidez inicial del agua llevando a cabo la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas llamadas coagulantes, donde la planta Galán durante los últimos años se ha estado dosificando el policloruro de aluminio con buenos resultados en la clarificación del agua.

Esta operación se efectúa en unidades (canaleta parshall y floculadores hidráulicos) en donde ocurre la mezcla rápida y la mezcla lenta, en los cuales el agua se somete a una agitación intensa para formar una solución homogénea de los químicos adicionados con el agua procurando que esta etapa ocurra en el menor tiempo posible pero con efectos positivos para el tratamiento del agua.²⁵

En esta etapa del proceso de clarificación se usa para remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente, remoción de color aparente, también la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.

Para la decantación de material particulado muy fino y coloides por otros procesos físicos como la sedimentación simple, resulta en pérdidas tanto económicas como atrasos en la operatividad del proceso debido a que estos materiales (particulado y coloides) tienen aproximadamente la misma densidad del agua lo que dificulta su decantación generando tiempos de retención muy largos en las unidades de sedimentación.

Para la evaluación técnica de las etapas de coagulación y floculación en la planta Galán adscrita a la EAAAZ, se cuenta con características físicas y químicas del agua mencionadas anteriormente en este documento y características de gran importancia como la dosis adecuada del coagulante, el punto aplicación de los químicos durante la mezcla rápida, intensidad (resalto hidráulico), tiempo de mezcla y tipo de dispositivos de la mezcla.²⁶

²⁵ RODRIGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. 1995. p 115.

²⁶ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Mc Graw Hill y ACOPAL. Bogotá. 2000. Tomo I. p. 362.

2.3.1.1 Factores que influyen en la coagulación. Para obtener un proceso de desestabilización de partículas y coloides con buena eficacia se deben tener en cuenta varios factores que están en función de la etapa y del proceso en general; algunos ya mencionados anteriormente en las propiedades tanto físicas como químicas de los cuerpos de agua que se estén tratando.

- **Valencia.** Es un factor importante en cuanto a la selección del coagulante a trabajar en la planta de tratamiento siendo indispensable debido a que entre mayor sea la valencia del ión, más efectivo resulta como desestabilizante de las cargas presentes en el agua.

- **Capacidad de cambio.** Es una medida de la tendencia a sustituir los cationes de baja valencia, teniendo como resultado la desestabilización y mejor aglutinamiento de las partículas y coloides en forma más rápida dentro de la fase acuosa.

- **Tamaño de las partículas.** Las partículas deben poseer un diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetros entre una y cinco micras (μm), sirven como núcleos de floc, en cambio el diámetros superiores a cinco micras son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.

- **Temperatura.** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría este el agua, la reacción química de desestabilización de las partículas es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.

- **Concentración de iones H^+ .** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.

- **Relación cantidad-tiempo.** Es una relación de cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.

- **Alcalinidad.** Para este factor la alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad en el agua es uno de los factores por considerar en la coagulación.²⁷

²⁷ RESTREPO OSORNO, Hernán, (Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable). Tesis de Ingeniería Química. Medellín. 2009. p. 9.

2.3.2 Floculación. En esta etapa del proceso las partículas ya desestabilizadas eléctricamente por la acción del coagulante se aglomeran mediante la agitación moderada del agua en los floculadores hidráulicos haciendo que formen grumos de más partículas con un tamaño mucho mayor formando flocs más grandes.

Como objetivos principales de la floculación son reunir microfloculos ya generados en la etapa anterior mencionada para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el floculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como la sedimentación y filtración.

2.3.2.1 Factores que influyen en la floculación. Para obtener un proceso de aglomeración de los microfloculos con buena eficacia se deben tener en cuenta varios factores que están en función de la etapa y del proceso en general.

➤ **Concentración y naturaleza de las partículas.** La velocidad de formación de los flocs es proporcional a la concentración de las partículas que se encuentran en el cuerpo de agua y del tamaño inicial de éstas, obteniendo un floc consistente que sedimente rápido y fácilmente, procurando que no se fragmente en etapas posteriores.

➤ **Tiempo de detención.** Es un factor crucial en la etapa debido a que la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Este tiempo es determinado por medio del ensayo de jarras el cual se puede mejorar si la unidad de floculación está dividida en cámaras. Se puede aproximar que la eficiencia de la etapa puede estar dada si se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades.²⁸

2.3.3 Prueba de jarras. La coagulación química y dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. Donde esta prueba es la que mejor simula estas dos etapas (coagulación-floculación) para la clarificación y operación llevadas a cabo en la planta.

Consta de un simple arreglo de vasos de precipitado y paletas de agitación que permiten comparar varias dosificaciones de los coagulantes y floculantes las cuales están sujetas a condiciones hidráulicas similares. Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración más adecuada de reactivos necesaria para obtener un floc de las mejores características.

²⁸ *Ibíd.*, p. 12.

3. MARCO LEGAL

Se puede decir que para un correcto funcionamiento de los procesos de tratamiento y distribución del recurso hídrico para la población se deben seguir unos lineamientos institucionales establecidos por la normativa legal vigente en Colombia. La calidad del agua es un conjunto de características físicas, químicas y biológicas que definen el recurso en su estado natural. Para establecer los parámetros que permiten clasificar el agua tratada según su calidad es necesario definir el uso predominante y vital que tiene el recurso.

En el año 2001 se expide la resolución **151** de la Comisión Reguladora de Agua (CRA), el cual hace referencia a la regulación integral de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo; con el fin de establecer los parámetros de calidad del agua en cuanto al suministro y control de los procesos llevados a cabo por las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), como también en la continuidad de la prestación de los servicios.

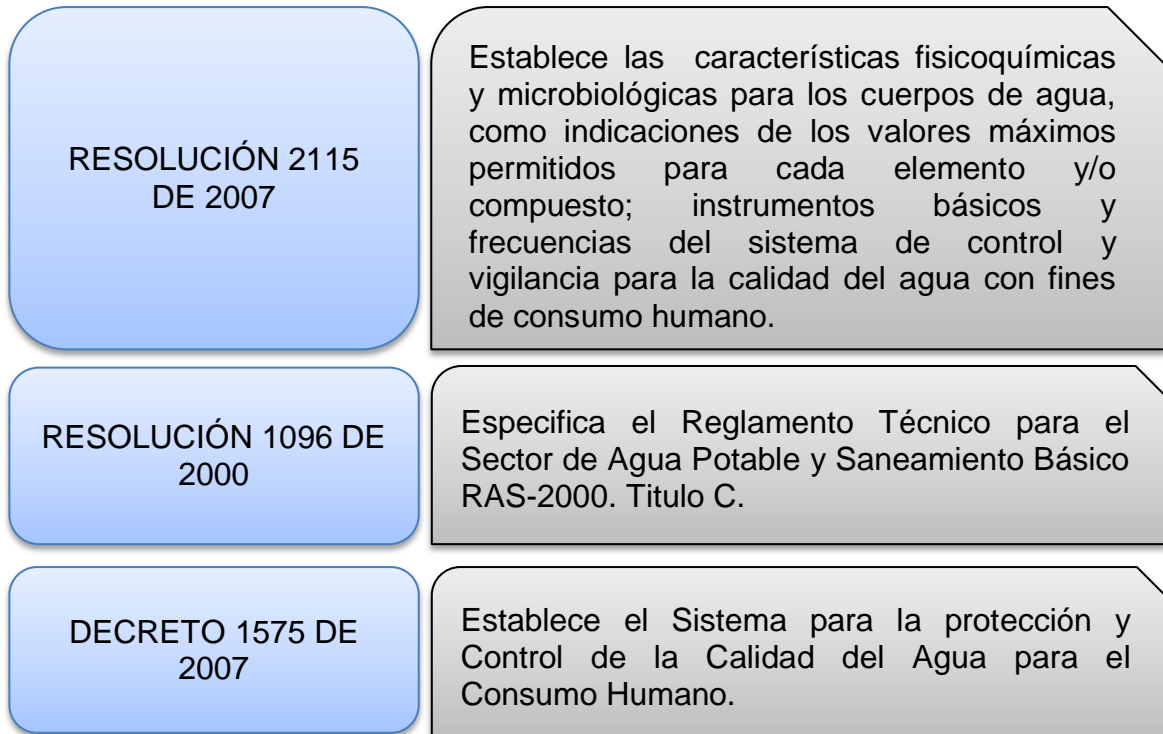
Con la formulación del decreto **475** de 1998, se establecieron las regulaciones para las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para el consumo humano; este decreto fue derogado emitiendo el decreto **1575** de 2007. Con la resolución **2115** de 2007 se establecieron las características, los instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.²⁹

Continuando con el marco legal para la potabilización de agua para consumo humano y las requeridas para el presente trabajo de investigación los decretos y resoluciones presentadas anteriormente se seguirán como apoyo para desarrollar continuación del presente trabajo y el normal funcionamiento de la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá (EAAAZ) como para la planta Galán.

Los requerimientos legales nacionales para este trabajo se muestran en la figura 2.

²⁹ RODRÍGUEZ QUITIAQUEZ, Ruth Angélica, (Revisión de la normatividad ambiental vigente para el manejo y abastecimiento de agua potable en Viotá, Cundinamarca). Tesis de Especialización en planeación ambiental y manejo integral de recursos naturales. Bogotá D.C. 2015. p.14.

Figura 2. Requerimientos legales nacionales para el agua potable³⁰



De acuerdo a la resolución 2115 de 2007, los estándares de calidad del agua para el consumo humano son los siguientes. Las características físicas no pueden sobrepasar los valores máximos aceptables que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características físicas del agua para consumo humano

Características físicas	Expresado como	Valor máximo
Color aparente	Unidades Platino Cobalto	15
Olor y sabor	Aceptable o no Aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)	2
Sólidos Totales	mg/L	250
Conductividad	Microsiemens/cm	1000
pH	-	6,5-9,0

Fuente: República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo. Resolución 2115 de 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua. Citado en 23 de Febrero de 2017.

En los artículos 5, 6 y 7 se encuentran las características químicas aceptables

³⁰ BUSTOS MONTAÑO, Viviana, (Propuesta de mejoramiento de la línea de insumos del proceso de tratamiento de agua potable en la planta regional de la EAAAZ). Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2016. p.32.

para el agua de consumo humano para cada elemento y/o compuestos químicos que tienen un efecto nocivo para la salud humana a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Características químicas con efectos nocivos sobre la humanidad

Elementos, mezclas y compuestos químicos	Expresadas como	Valor máximo (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociado	CN ⁻	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos totales	THMs	0,2
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente: República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo. Resolución 2115 de 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua. Citado en 23 de Febrero de 2017.

Las características químicas del agua para consumo humano en relación a los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en la tabla 4.

Tabla 4. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana

Elementos, compuestos químicos con implicaciones para la salud humana.	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono orgánico total	COT	5
Nitritos	NO ₂ ⁻	0,1
Nitratos	NO ₃ ⁻	10

Fuente: República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo. Resolución 2115 de 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua. Citado en 23 de Febrero de 2017.

Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los

elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Características químicas con mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

Elementos y compuestos químicos	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ⁺³	0,2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Sulfuros	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

Fuente. República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo. Resolución 2115 de 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua. Citado en 23 de Febrero de 2017.

Siguiendo con el artículo 11 de la resolución 2115/07 el cual establece las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro los siguientes valores máximos aceptables los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra para la tabla 6.³¹

Tabla 6. Características microbiológicas de agua para consumo humano

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismos en 100 cm ³	< de 1 microorganismos en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismos en 100 cm ³	0 microorganismos en 100 cm ³
Presencia-Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo. Resolución 2115 de 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua Citado en 23 de Febrero de 2017.

³¹MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. República de Colombia. [En línea] http://www.minambiente.gov.co/images/GestiónIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaciónde_agua/Resolución2115.pdf. [Citado 21 de marzo de 2017]

4. DIAGNÓSTICO ACTUAL

Con el fin de reconocer el estado operativo de la planta Galán de la EAAAZ se realizaron unas visitas periódicas, para conocer e identificar las instalaciones de trabajo, los equipos utilizados en la recolección y análisis de muestras y clase de tecnología utilizada actualmente. Así mismo con la experimentación llevada a cabo en la planta, se reconocieron los aspectos claves o críticos que se llevan a cabo en el proceso de potabilización del agua.

La planta Galán suministra agua potable para los barrios altos del municipio de Zipaquirá, y cuenta con un sistema de tratamiento de agua convencional en sus instalaciones; garantizando la calidad del agua potable y cumpliendo los requerimientos necesarios según las normas vigentes en Colombia (ver Marco Legal). Dentro de estos tratamientos usados para la clarificación y potabilización del agua, se encuentran operaciones unitarias de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

4.1 INFORME TÉCNICO

La planta Galán se ubica aproximadamente a 2 kilómetros del casco urbano del municipio de Zipaquirá llegando a los cerros altos del mismo con el fin de que el recurso llegue por gravedad a los consumidores; esta planta cuenta con un sistema convencional de tratamiento, una vista panorámica de la planta Galán se muestra en la figura 3, apreciando las cámaras de floculación en 1, junto al sedimentador tipo colmena en 2. La planta Galán fue construida hace cerca de 50 años donde su caudal de diseño fue 50 L/s pero actualmente la planta cuenta con una capacidad de 30 L/s debido a las limitaciones del sistema de abastecimiento aguas arriba; este caudal de diseño puede variar según las épocas de verano e invierno que tenga el municipio afectando variables físicas, químicas y operativas.

Figura 3. Vista panorámica de la planta de tratamiento Galán



El agua cruda que llega a la planta de tratamiento no cuenta con las condiciones y características fisicoquímicas y microbiológicas para su consumo, para contrastar las condiciones del agua que actualmente abastece a la planta Galán se puede observar en la tabla 7 en el último año (**Ver Anexo A**), para el agua cruda y lo permitido por la resolución 2115 de 2007.

Tabla 7. Condiciones del Agua cruda planta Galán

	Parámetro	Unidades	Resolución 2115 máximo	Promedio Año 2016-2017	Aceptable(A)/ No Aceptable(NA)
Agua cruda	Color	UPC	15	45	NA
	Turbiedad	UNT	2	6,89	NA
	Hierro	mg/L	0,30	0,58	NA
	Alcalinidad	mg/L	200	9	A
	pH		6,5-9,0	7,23	A

En la planta se implementan actualmente los procesos de coagulación y floculación, donde estas etapas decantan el mayor número de partículas suspendidas, sólidos y coloides; dejando toda clase de coliformes y microorganismos perjudiciales para la salud a la etapa de desinfección con cloro gaseoso implementada al final del proceso de potabilización. Un inconveniente no menor es el agua de llegada a la planta durante las épocas de lluvia comprendido entre los meses de febrero a mayo como se evidencia en el aumento de turbiedad y color, durante este tiempo (**Ver Anexo A**) se aumentan todos estos materiales particulados y suspendidos en el recurso hídrico ya sea por la absorción de óxidos y minerales, o arrastre de nutrientes del subsuelo, como de gran cantidad de compuestos químicos que son remolcados y vertidos al flujo de agua por acciones naturales. Durante la temporada de verano los problemas en el tratamiento disminuyen debido a que hay menor turbiedad de los causes, menor agitación en los vórtices de los ríos y quebradas; como menor disipación de materiales solubles en el agua, esto hace que el agua disminuya todas estas características haciendo que el tratamiento en planta Galán sea mucho más efectivo y de mejores rendimientos.

El agua clarificada y tratada para consumo humano es analizada antes de que abandone las instalaciones de la planta, se hacen pruebas de caracterización fisicoquímica diarias con el propósito de mantener los estándares de calidad necesarios para su distribución como lo obliga el ministerio de salud de Colombia en la resolución 2115 y el decreto 1575 de 2007 para el control, instrumentación y calidad del agua potable.

4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO DE AGUA EN LA PLANTA GALÁN

La planta Galán abastece de agua potable a los barrios altos del municipio; donde sus fuentes de captación hídrica cruda son las renombradas ya en la tabla 1, destacando el Río Frio, el cual tiene el caudal de mayor importancia para el funcionamiento de la planta con 16 L/s, seguido de las quebradas el Borrachero y el Clavel cada una con 13 L/s y 11 L/s respectivamente.

La captación del agua cruda superficial por las diferentes fuentes llega por un sistema de gravedad debido a que se encuentran tanto las fuentes de suministro como la planta en la zona alta del municipio, evitando así el transporte por bombeo mecánico. Seguido a esto los flujos de las fuentes de abastecimiento se mezclan en la cascada de aireación donde el agua cruda se prepara para la entrada a la cámara de mezcla rápida. Ya en la planta, el agua llega a la zona de oxidación química no forzada comúnmente conocida como aireación, la cual se efectúa con el agua cruda para que tenga un contacto con el aire, con el propósito de remover compuestos orgánicos de sustancias volátiles (COV's), transferir oxígeno al agua ocasionando un aumento en el oxígeno disuelto (OD) y poder disminuir la concentración de metano en el agua, posteriormente cae a través de una pequeña cascada aumentando así la turbulencia y mejorando el área de contacto entre las fases (aire-agua). Después de la aireación el agua es conducida a la unidad de mezcla rápida mostrada en la figura 4, la alta turbulencia necesaria en la coagulación es causada a través de un vertedero longitudinal de 1,2 metros y un ancho de 0,31 metros el cual tiene una pendiente que genera en el caudal una turbulencia ideal para la aplicación del policloruro de Aluminio PAC 03 en solución al 5% peso /volumen y generar una mejor reacción de los químicos adicionados. La ficha técnica del PAC se puede ver en el **Anexo B**.

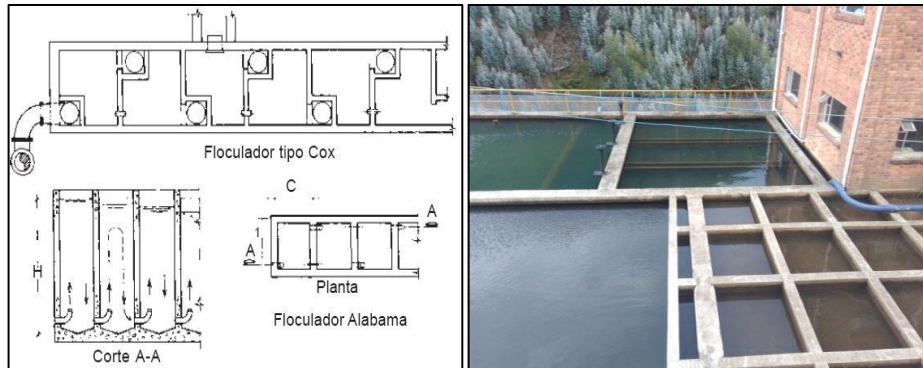
Figura 4. Unidad de mezcla rápida



La adición de los insumos químicos para efectuar la mezcla rápida en el agua cruda es utilizada para la desestabilización de coloides, material particulado suspendido y toda clase de materia orgánica disuelta. El flujo de agua pasa a través de los vertederos hidráulicos el cuál distribuido por una tubería de siete pulgadas (7") de diámetro hacia los quince floculadores hidráulicos y dos

sedimentadores convencionales; a través de este sistema hidráulico que está diseñado para que el agua tenga un transporte de tipo vertical como es el acostumbrado en la técnica utilizada por los floculadores tipo Alabama, se pueden apreciar en la figura 5.

Figura 5. Unidades de floculación y sedimentación



Fuente. República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo. Resolución 2115 de 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua. Citado en 23 de Abril de 2017.

La floculación (mezcla lenta) requiere energía de mezclado de tipo hidráulica, con el fin de aumentar el contacto entre las partículas para generar un floc consistente y poder lidiar con los esfuerzos cortantes que se producen entre las partículas desestabilizadas y las moléculas de agua; este procedimiento se lleva a cabo en los floculadores tipo Alabama, cada unidad tiene dimensiones de 1,58 m de ancho, 1,58 m de longitud y 4 m de profundidad con cerca de 3 m de altura útil de agua y una capacidad aproximada de 7,48 m³, cada unidad está conectado entre sí por la parte inferior a través una curva de 90° volteada hacia arriba, obteniéndose un flujo ascendente-descendente con velocidades promedio entre los codos de 0,4 – 0,2 m/s, habitualmente se tienen gradientes de velocidad (G) de entre 70 y 20 s⁻¹ y tiempos de retención por cada cámara de floculación de 2,5 a 3 minutos.³²

La sedimentación de esta agua floculada se hace a través de dos sedimentadores convencionales y uno tipo colmena; tienen una capacidad aproximada de 462 m³ los cuales están divididos en dos módulos idénticos separados por un muro longitudinal, perforado con orificios que comunican los flujos entre sí, figura 6.

Una vez floculada el agua, en esta unidad se produce la clarificación del agua donde se precipitan por gravedad las partículas y coloides desestabilizados; el sedimentador cuenta con cuatro zonas las cuales son la: zona de entrada, zona de

³² PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA DE LA EAAAZ-ESP.2003.Zipa. p. 42

sedimentación, zona de salida y zona de lodos. En la **zona de entrada** se hace que el flujo de agua que ingresa sea suave y el necesario para la sedimentación donde contribuye a que el caudal sea repartido uniformemente a través de toda la sección transversal de la unidad, garantizando una velocidad longitudinal uniforme de igual intensidad y dirección.

Figura 6. Sedimentador convencional y tipo colmena



En la **zona de sedimentación**, se cuenta con una cámara de volumen y condiciones de flujo adecuados que permiten la precipitación de las partículas, la **zona de salida** donde contribuye a que se dé un tránsito suave entre la zona anterior y la de salida, constituida por un vertedero y/o tubos perforados tipo colmena a 60° , esta característica del diseño ayuda a que el floc se decante de una mejor forma. Finalmente, la **zona de lodos**, la cual recibe el material sedimentado que es drenado posteriormente para ser vertido a una quebrada cercana. Según el manual de operación de esta unidad, el tiempo de retención (T_r) es de dos horas para este caudal, de igual forma la velocidad horizontal máxima de flujo debe de ser de 1 cm/s y una altura útil entre 4 y 5 m; el fondo consta con una pendiente longitudinal mayor al 2% con relaciones para el tanque entre ancho y el largo de 1:4 a 1:8, y una relación entre largo y profundidad de 5:1 a 25:1, de tal manera que se facilita el barrido de lodos durante el mantenimiento.

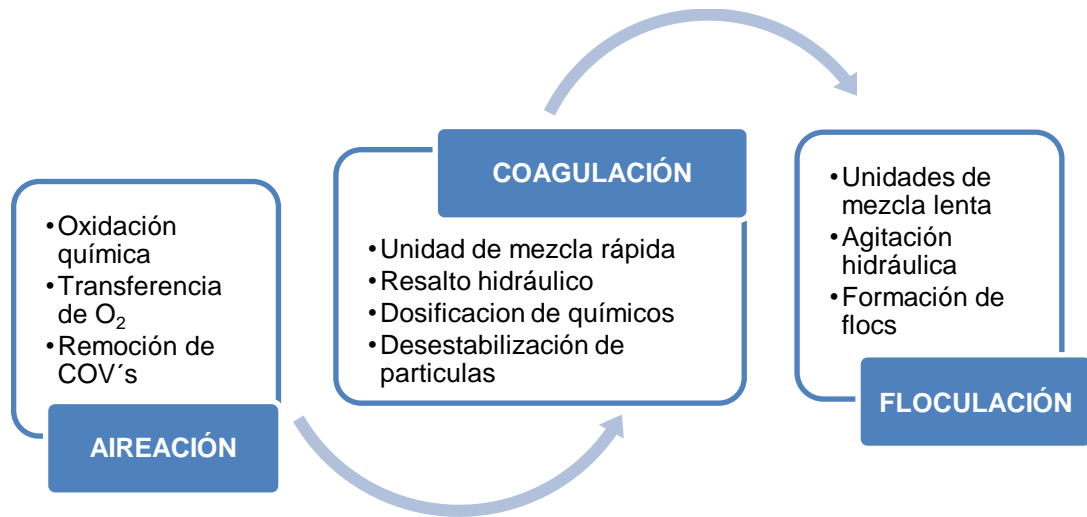
El floc formado a través del proceso adquiere más masa por lo que se sedimenta a su paso por la unidad de sedimentación, donde se remueve aproximadamente el 90%, comprendido entre coloides y material particulado, el cual se evidenciará más adelante con los porcentajes de remoción.

El agua clarificada es llevada a la etapa de filtración donde existen dos filtros rápidos, cuyo lecho lo constituyen gravas ricas en cuarzo, arenas y antracita de diferentes granulometrías con el fin de mejorar el filtrado. El lavado de los filtros se hace cada 48 horas vertiendo el agua de este proceso directamente a la quebrada, el cual se podría volver a incorporar al proceso si se implementara un *bypass* o recirculación de esta agua a la mezcla rápida. El agua filtrada llega a un

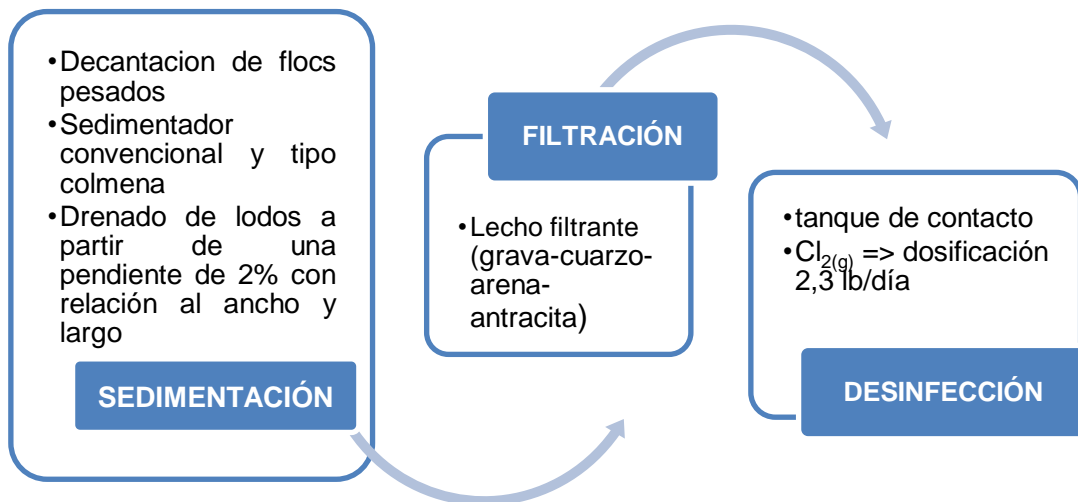
tanque de contacto donde se lleva a cabo el proceso de desinfección con cloro, este compuesto es almacenado en pipetas de 68 kilogramos con una dosificación de 2,3 libras/día.

Para una mejor comprensión del proceso de potabilización del agua en la planta Galán se muestra un diagrama de proceso con algunas especificaciones a continuación en la figura 7.

Figura 7. Flujograma de procesos en Planta Galán



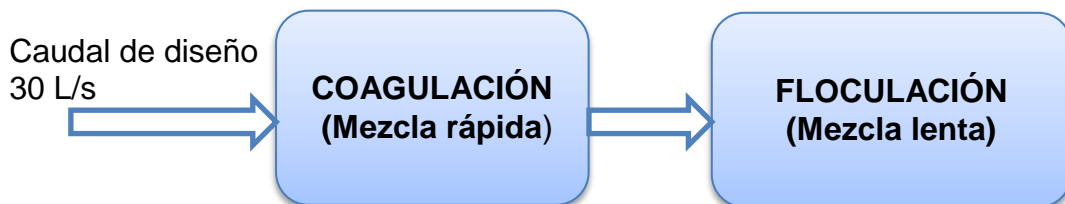
Continuación **Figura 7.**



4.3 DIAGNÓSTICO OPERATIVO

Las etapas principales en los procesos de potabilización son las de coagulación y floculación debido a la gran cantidad de material precipitado, por medio de condiciones adecuadas al momento de la aplicación de los reactivos químicos en la unidad de mezcla rápida. Durante las inspecciones a la planta Galán, se centralizó la investigación en estas dos etapas, dando perspectivas para poder sugerir cambios en la metodología de tratamiento actual. La metodología que se propone será llevada a cabo a partir de políticas de operación y cumpliendo a cabalidad todos los estándares e índices normativos para la calidad del agua para consumo humano. Las etapas de estudio y diagnóstico se presentan en la figura 8.

Figura 8. Etapas de evaluación técnica en la planta Galán



4.3.1 Estructura de llegada. El flujo de agua cruda proveniente de la pequeña cascada de aireación natural no forzada es de aproximadamente 30 L/s donde el resalto hidráulico presenta unas dimensiones de 1,2 m de longitud por 0,31m de ancho, la profundidad efectiva observada en la canaleta Parshall ubicada enseguida del resalto hidráulico ayuda a que el flujo aumente su número de Reynolds ocasionando una mayor turbulencia del líquido como se ve en la figura 9.

Figura 9. Canaleta Parshall de la planta Galán



Para un caudal promedio de trabajo de (30 L/s o 0,03 m³/s) se observa que en la canaleta Parshall una altura convergente de 0,36 m y un ancho de 0,31 m. Con los datos anteriores se puede calcular la velocidad entrada del fluido a la unidad a

partir de la ecuación 1:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,03 \text{ m}^3/\text{s}}{0,36 \text{ m} * 0,31 \text{ m}} = 0,27 \text{ m/s} \quad \text{Ec.1}$$

El resalto hidráulico puede emplearse cuando se dispone de suficiente energía en el flujo de entrada, en la planta Galán es llevado a cabo efectivamente por la canaleta Parshall como dispositivo para la generación del resalto hidráulico donde esta unidad trabaja muy bien sin permitir que trabaje ahogada (funcionando a caudal mucho mayor que el de diseño); para poder aumentar la turbulencia se podría implementar el sistema de vertedero con cresta ancha el cual puede llevar dientes productores de resalto de mejor eficacia con mayores condiciones de agitación.³³

4.3.2 Cámara de medición y mezcla rápida. Actualmente esta cámara compuesta por el vertedero hidráulico y la canaleta Parshall trabaja normalmente, la cual tiene como función principal ser capaz de dispersar el coagulante el PAC 03 actualmente en solución al 5% (p/v) más el floculante POLIFLOC 2111 de carácter aniónico en solución al 0,01% (p/v), es necesario que este producto sea adicionado lo más cerca y rápido posible de las condiciones de mezcla rápida con los coagulantes; estas operaciones se realizan teniendo en cuenta los tiempos de acción requeridos para el proceso de tratabilidad, los datos se obtienen de la realización del ensayo de jarras.

En la cámara de mezcla rápida es importante realizar un buen proceso de coagulación y floculación, debido a que si se hace de manera incorrecta puede conllevar a gastos adicionales en la operación; se debe tener en consideración la dosis de coagulante y floculante para poder condicionar el funcionamiento de las unidades de sedimentación; la dosis adecuada puede determinarse en el laboratorio mediante la prueba de jarras de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana 3903, esta norma se utiliza en el diagnóstico fisicoquímico de los parámetros de calidad más relevantes, como lo son el color, turbiedad, alcalinidad, hierro en solución y pH del agua, para una correcta potabilización del agua como lo muestra el marco legal del presente trabajo de investigación.

El polímero inorgánico utilizado como floculante POLIFLOC 2111 es requerido en la operación para que sirva de acompañante al coagulante, mejorando la separación de las partículas y disminuyendo costos operacionales.

Como se mencionó en el capítulo 2, la coagulación puede darse de cuatro mecanismos diferentes; pero para el desarrollo de este trabajo de investigación se determinaran los de adsorción-neutralización y atrapamiento de partículas en un

³³ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS. Título C. Bogotá. 2000. p. C.38.

precipitado o barrido. Para estos mecanismos se debe tener especial cuidado con las concentraciones residuales de aluminio, que son generadas habitualmente por sales de estos compuestos metálicos, problema que era habitual cuando se utilizaba el sulfato de aluminio como coagulante. Por el contrario el PAC 03 utilizado actualmente en los procesos de la planta Galán no presenta este inconveniente.

Para el mecanismo de adsorción-neutralización se tienen tiempos de 0,01 a 1 segundo, diferenciando del mecanismo de precipitado o barrido con tiempos de 1 a 7 segundos donde se presenta precipitación robusta de hidróxido de aluminio los cuales son especies hidrolizadas en el agua al momento de reaccionar con el coagulante, estos hidróxidos barren la solución incorporando coloides en dicho precipitado.³⁴

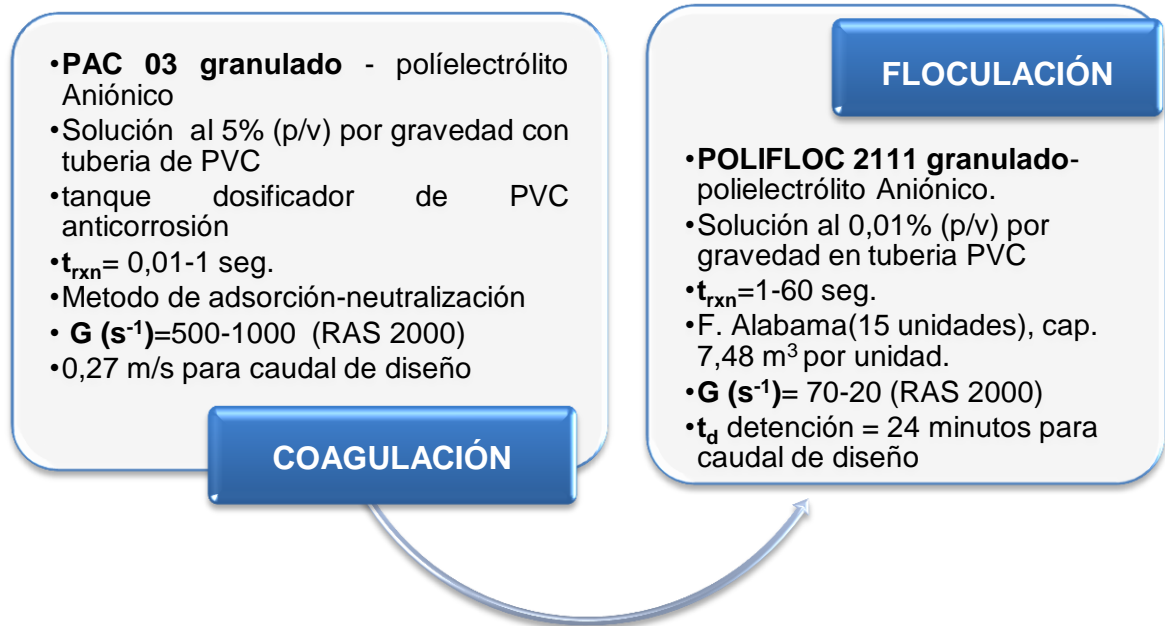
La dosificación en solución del PAC 03 se muestra en la figura 10 y enseguida en la figura 11, las especificaciones de cada una de las etapas.

Figura 10. Dosificación de insumos al agua cruda (1 dosificación PAC 03)



³⁴ BUSTOS MONTAÑO, Viviana, (Propuesta de mejoramiento de la línea de insumos del proceso de tratamiento de agua potable en la planta regional de la EAAAZ). Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2016. p.41.

Figura 11. Especificaciones para las etapas de Coagulación y floculación



4.3.3 Floculadores. En el proceso de floculación o mezcla lenta, se aglomeran las partículas desestabilizadas en grumos más grandes los cuales por su peso decantan a la base del floculador tipo Alabama, donde se encuentra el drenaje para los lodos producidos por cada unidad de floculación.

En esta fase del proceso, los gradientes de velocidad (G en s^{-1}) influyen en la eficiencia de la floculación, debido a que si el gradiente de velocidad es muy grande puede romper y reestabilizar los coloides, pero si el gradiente es muy bajo con respecto al necesario, se producen flocs tipo esponja afectando la etapa debido a que se demorarían más en decantar. De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por diferentes variables físicas y químicas, tales como el tamaño de los coloides, la concentración de flocs, el pH, la temperatura del agua y por supuesto la concentración del floculante adecuado para la etapa.³⁵

En general para aguas superficiales, cuando existe una alta concentración de sólidos las distancias entre las partículas es pequeña, al igual que la energía necesaria para hacer que se encuentren y choquen dos partículas o más; opuestamente, ocurre cuando la concentración de sólidos es baja, necesitándose más energía de mezclado. Por consiguiente para turbiedades altas, se debe tratar de operar con gradientes de velocidad bajos y para turbiedades bajas, gradientes

³⁵ ROMERO ROJAS, Jairo. Purificación del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá. 2006. p. 83. ISBN 958-8060-66-4.

de velocidad altos. Una vez formados los flocs, se debe disminuir el gradiente de velocidad hasta llegar a valores entre 30 s^{-1} y 20 s^{-1} , esto es necesario para contribuir al crecimiento de los flóculos y evitar que los esfuerzos cortantes de gradientes mayores los destruyan por esfuerzo.³⁶

En la planta Galán, la unidad de floculación es de tipo Alabama o Cox, como es llamado técnicamente en el tratamiento de aguas. En estas unidades, la energía de mezclado es hidráulica gracias a su diseño, el cual, es relacionado a los codos de 90° en el fondo de la unidad, ocasionando un movimiento hidráulico de carácter ascendente-descendente necesario para la operatividad de la etapa y mejorando las condiciones del agua floculada para la posterior etapa de sedimentación.

4.4 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

Durante las visitas a la planta Galán, se evaluó la caracterización actual del recurso hídrico y las condiciones de dosificación de insumos químicos utilizados por la EAAAZ; el PAC 03 se dosifica en solución en un tanque de polivinil cloruro (PVC) con capacidad de 500 litros, donde el coagulante tiene una concentración del 5 % (p/v) a nivel de planta.

Se preparó una solución al 1% (p/v) con el fin de realizar la caracterización actual del agua cruda a escala laboratorio acudiendo al método de ensayo de jarras; este procedimiento cuenta con un análisis cuantitativo y experimental para las variables que se cuantifican actualmente en la planta Galán, las cuales evalúan la calidad del agua para cada etapa en el proceso de potabilización como:

- Turbiedad (UNT)
- Alcalinidad (mg CaCO_3 / l)
- Hierro (mg Fe / l)
- Color (UPC)
- pH
- Concentración de insumos químicos (mg/L)

Se tomaron como base una muestra de 15 litros de agua para los cuatro lugares distintos en la planta Galán, los cuales fueron a la salida de la cascada de aireación, el agua coagulada, agua floculada y agua sedimentada; donde se obtuvieron los siguientes resultados observados en la tabla 8 y los métodos analíticos de laboratorio se evidencian en el **Anexo C**.

³⁶ PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA DE LA EAAAZ-ESP.2003.Zipaquirá. p.45

Tabla 8. Caracterización fisicoquímica

Análisis	Unidades	Agua Cruda	Agua Coagulada	Agua floculada	Agua sedimentada	Método de análisis
Turbiedad	UNT	6,9	8,8	4,3	1,21	Nefelométrico
Color	UPC	50	40	20	5	Fotométrico
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	9	11	8	7	Volumétrico
Hierro	mg Fe / l	0,72	0,58	0,21	0,13	Fotométrico
pH		7,23	7,22	7,31	7,33	Electrométrico

Al observar la tabla anterior, se puede notar una continua disminución en los parámetros fisicoquímicos más destacados en el control de los procesos de potabilización y calidad del agua, obteniéndose un porcentaje de remoción del 82,46 % para turbiedad, 90% para color, 81.94 % para hierro y 22.22% de alcalinidad. El disminución del parámetro de alcalinidad no es relevante, debido a que la resolución 2115 de la república de Colombia estima un máximo de 200 mg/L de alcalinidad, con lo que se observa en la tabla 8 una entrada al proceso de 9 mg/L de CaCO₃; como también un porcentaje de cambio de pH durante la adición y reacción de los insumos químicos de 1,38%, donde el PAC 03 no afecta demasiado esta variable debido a su amplio rango de acción, el cual es más elevado que otros coagulantes del mercado como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico; por lo que el PAC 03 da buenos resultados para la planta Galán.

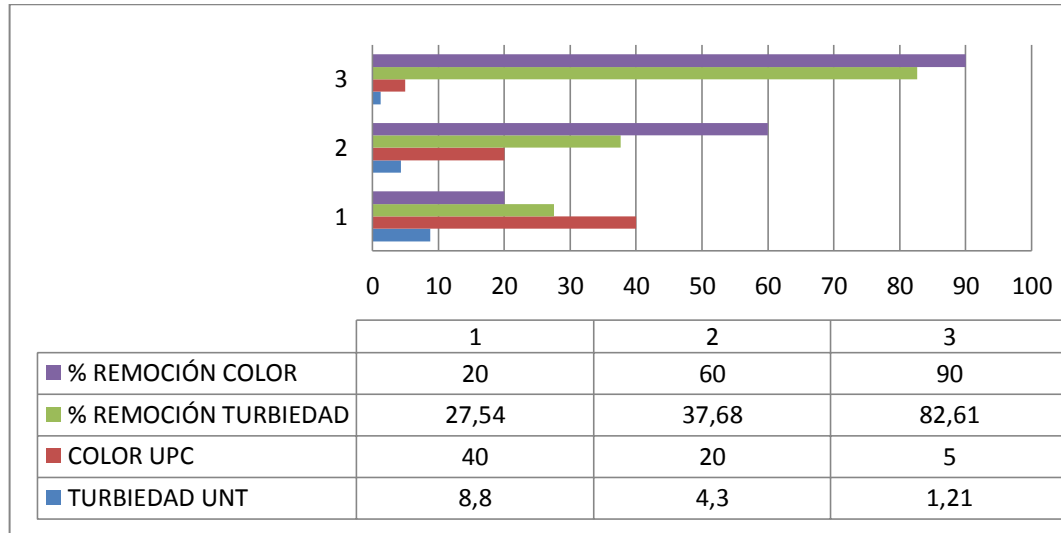
Estos resultados se pueden evidenciar utilizando la ecuación de porcentaje remoción para cada una de las variables mencionadas anteriormente, donde se tomará como ejemplo el de la turbiedad a continuación por la ecuación 2.

$$\% \text{ remocion Turbiedad} = \left(\frac{\text{turbiedad inicial} - \text{turbiedad final}}{\text{turbiedad inicial}} \right) * 100\% \quad \text{Ec.2}$$

$$\% \text{ remocion turbiedad} = \left(\frac{6,96 - 1,21}{6,96} \right) * 100\% = 82,46\%$$

Estos datos se pueden observar mejor en la gráfica 1 en función de la turbiedad y el color para cada una de las muestras de agua que se analizaron, donde la ordenada uno (1) es para el agua coagulada, la dos (2) es para el agua floculada y la tres (3) es para el agua sedimentada; para la gráfica 1 se utilizaron los datos correspondientes a la caracterización fisicoquímica pertenecientes a la tabla 8.

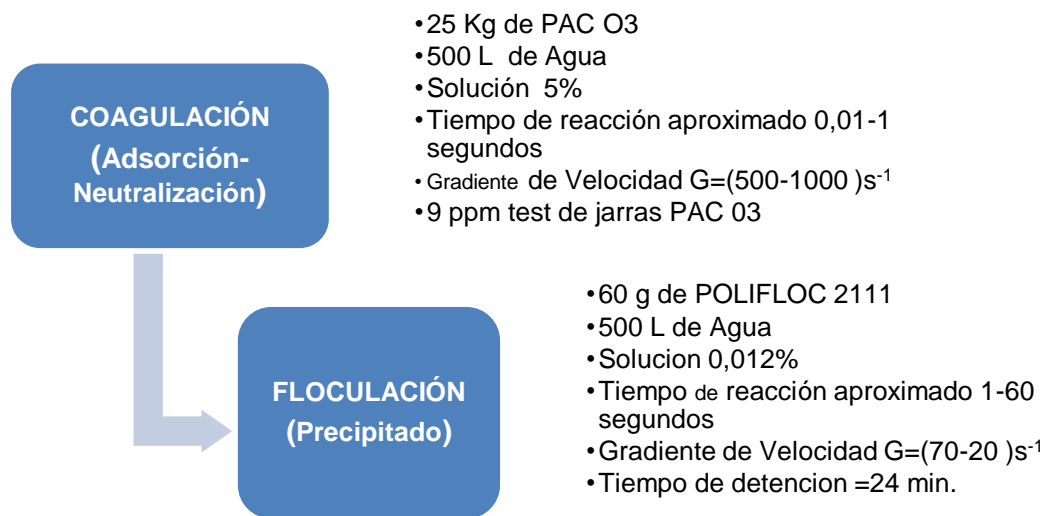
Grafica 1. Porcentajes de Remoción para Turbiedad y Color



Estos resultados evidencian que en las etapas de coagulación y floculación se elimina el 82,46% de turbiedad; cerca del 17,54% restante se elimina en las etapas de filtración y desinfección, dejando el agua lista para consumo humano cumpliendo los estándares y parámetros necesarios para su distribución según el decreto 2115 de 2007.

El resultado del diagnóstico actual de la planta Galán que resume las condiciones de cada una de las dos etapas de proceso fundamentales en la potabilización de agua se muestran en el diagrama de flujo de la figura 12.

Figura 12. Diagrama de flujo para las etapas de coagulación y floculación



La caracterización del coagulante utilizado actualmente por la EAAAZ en la planta Galán es el PAC 03, en la tabla 9 se presenta el análisis de jarras para una muestra de 20 litros de agua cruda, utilizando el policloruro.

Tabla 9. Test de jarras utilizando PAC 03

Condiciones iniciales	Turbiedad(UNT)	Color (UPC)	Alcalinidad (mg/L)	Hierro (mg/L)	pH
	4,77	40	8	0,56	7,31

Característica	Número de ensayo					
	1	2	3	4	5	6
PAC 03 Líquido (mg/L)	6	7	8	9	10	11
Flóculos en primer tiempo min.	5	4	4	2	3	3
Índice Willcom	2	4	6	6	6	6
Color UPC	20	15	10	5	10	10
Turbidez UNT	0,58	0,48	0,53	0,31	0,40	0,42
pH	7,27	7,18	7,46	7,36	7,24	7,15
Hierro mg/L	0,04	0,05	0,11	0,09	0,08	0,08
% remoción turbidez	87,84	89,94	88,89	93,50	91,61	91,19
% remoción de color	50	62,5	75	87,5	75	75

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En el desarrollo de este capítulo, se llevó a cabo una investigación teórica sobre los diferentes insumos que pueden ser utilizados en las etapas de coagulación y floculación, para identificar las condiciones y requerimientos más adecuados en el proceso de potabilización; y así, plantear una alternativa diferente al PAC 03 como coagulante utilizado por la EAAAZ.

5.1 OPCIÓN DE INSUMOS

En el mercado hay una gran variedad de insumos químicos para la clarificación y tratabilidad del agua con fines de potabilización, por ejemplo hay diferentes clases de coagulantes, floculantes y auxiliares de coagulación (alcalinizantes). De tal modo, se realiza una revisión general de reactivos para cada una de las etapas investigadas y se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Insumos requeridos para tratamiento de aguas

Coagulantes	
Sales de Aluminio	Sulfato de aluminio: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ Aluminatos de sodio: $NaAlO_2 \cdot xH_2O$ Policloruro de Aluminio: $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}.H_2O$ PAC
Sales de hierro	Sulfato férrico: $Fe_2(SO_4)_3$ Sulfato ferroso: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ Cloruro férrico: $FeCl_3$
Floculantes	
Orgánicos naturales	Ácido manuránicos Ácidos glucónicos
Orgánicos sintéticos	Aniónicos (copolímeros de acrilamida y ácido acrílico) Catiónicos (copolímeros de acrilamidas +monómeros catiónicos)

Fuente. SEDAPAL. Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: coagulación floculación. [En línea]. Disponible en: <http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154>. Consultado el 1 de mayo de 2017 ³⁷

En la tabla 11 se muestran las ventajas y desventajas del PAC con algunas otras sales de aluminio usados para el tratamiento de aguas.

³⁷ SEDAPAL. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN. [En línea]. Disponible en: <http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154> [consultado el 01/04/2017]

Tabla 11. Comparación de coagulantes en el tratamiento de aguas

Coagulante	Ventaja	Desventaja
Sulfato de aluminio o alumbre	Bajo costo con \$3.100 por kilo siendo el más asequible en el mercado y manejo sencillo. Está disponible en diferentes estados para comercialización (sólido y líquido).	A veces requiere ayudante de floculación (polímero). Presenta altas concentraciones de Al residual > 0,2 mg/L Generalmente requiere control de pH.
Hidroxicloriguro de aluminio (PAC)	Trabaja a diferentes turbiedades y alcalinidades. (1- Máximo 200 UNT) ;(10-300 mg/L) Tiene un amplio rango de pH de trabajo entre 6,5 a 9 unidades. Bajo consumo de polímeros (0,1%- 0,001%) (p/v) si es necesario	Precio más elevado por kilogramo \$3180, que con el Alumbre. En algunas combinaciones con otros compuestos puede generar un floc liviano que tarda en sedimentar.
Cloruro férrico	No tiene problemas de concentraciones elevadas de hierro de salida aproximadamente 0,10 – 0,15 mg /l de hierro Es eficiente sin ayudante de floculación (polímero)	Es usado en aguas acidas, de baja dureza (<100 mg/L), y de alto color (>80 UPC). Es muy corrosivo por los cloruros en solución (Cl ⁻) y para su almacenamiento. Disponible solo en estado líquido.
Sulfato ferroso	Tiene eficacia para aguas turbias (100-120 UNT) y de alta alcalinidad > 250 mg/L	Debe primero oxidarse a ión férrico para que sea útil. Utiliza una base generalmente cal (CaO) y cloro para llevar una coagulación eficaz.

Fuente: Autor por medio de XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y ambiental “Superación sanitaria y Ambiental: el Reto”. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. [En línea] <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>>. Consultado el 1 de mayo de 2017. ³⁸

³⁸XXII CONGRESO DE CENTROAMERICA Y PANAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL “SUPERACIÓN SANITARIA Y AMBIENTAL: EL RETO”. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. [en línea] <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>> [consultado el 01/04/2017]

5.1.1 Opción de coagulantes. Al momento de seleccionar los coagulantes a utilizar en la experimentación se deben tener en cuenta factores anteriormente dichos, como principalmente el pH, concentración de coloides y alcalinidad en el agua cruda; como también la naturaleza del agua a tratar para lo cual se muestra la tabla 12 y 13 respectivamente.³⁹

Tabla 12. pH de trabajo para coagulantes

Coagulante	Rango de pH
Sulfato de aluminio	4,0-7,0
Sulfato ferroso	<8,5
Cloruro férrico	3,5-6,5 y >8,5
Hidroxicloruro de aluminio PAC	6,0-9,0
Sulfato férrico	3,5-7,0 y >9,0

Fuente. Romero Rojas Jairo Alberto, “Calidad del agua”, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. Consultado el 14 de abril de 2017

Tabla 13. Consideraciones para selección de coagulante

Tipo de agua	Sales de aluminio	Sales de hierro
(>100 UNT) Alcalinidad alta(>250 mg/L) Las más fáciles de coagular	Efectivo para pH de 5 a 7. No requiere agregar alcalinidad ni ayudante de coagulación.	Efectivo a pH de 6 a 7. No requiere adicionar alcalinidad ni ayudante de coagulación.
(>100 UNT) Alcalinidad baja (<50 mg/L)	pH efectivo de 5 a 7. Puede requerir adición de alcalinidad si el pH disminuye durante el tratamiento.	
(< 10 UNT) Alta alcalinidad (>250 mg/L)	Efectivo en altas dosis. Puede requerir ayudantes de coagulación.	Efectivo a dosis bajas. Debe agregarse ayudante de coagulación para hacer floc más pesado.
(< 10 UNT) Baja alcalinidad (<50 mg/L) Las más difíciles de coagular		Efectivo gracias a floc de barrido. A veces debe agregarse alcalinidad o arcilla

Fuente. Romero Rojas Jairo Alberto. “Calidad del agua”. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. Consultado el 14 de abril de 2017.

El agua cruda que llega a la planta Galán generalmente tiene un pH de 7 a 7,3, el cual es un factor clave para el proceso de tratabilidad del agua, pues si este valor no es el adecuado para la desestabilización de los coloides y material particulado, puede ocasionar una reestabilización de estos, como también solubilizar concentraciones mayores de aluminio o hierro según corresponda, originando aluminio residual como aluminatos (sales básicas o ácidas) perjudicial

³⁹ ROMERO ROJAS, Op.cit.,p.138

para la salud humana. Las sales de aluminio generadas por la hidrólisis en el agua de los coagulantes tienden a generar un floc de gravedad específica grande, a pH aproximado de 6,5 a 7, disminuyendo los tiempos de retención en las unidades de floculación para el caudal de diseño y un pH de coagulación de 6,5 a 8,0 en la unidad de mezcla rápida, exactamente en el resalto hidráulico.⁴⁰

Para las sales de aluminio el pH óptimo se encuentra entre 6,0- 7,0 para una buena eficiencia de remoción de turbiedad y entre 5,0-6,0 para la remoción de color. El valor de pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto para la coagulación y floculación, donde el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados (aluminio o hierro) como el tiempo de formación del floc y la carga de las partículas coloidales a desestabilizar.⁴¹

Es necesario identificar el rango de pH para que ocurra una buena coagulación, dependiendo de la naturaleza de la sal a utilizar como insumo químico para la operación de la etapa, lo cual, es necesario debido a que en este pH recomendable se consumen las menores cantidades de coagulante y se obtienen buenos resultados de remoción de compuestos y coloides como se mostró en la caracterización fisicoquímica (agua cruda, coagulada, floculada y sedimentada) en la gráfica 1. Con base en la tabla 12, se contrastan estas recomendaciones con los datos obtenidos en la caracterización fisicoquímica del agua cruda que abastece a la planta Galán, lo cual se infieren concentraciones promedio para los parámetros de color, turbiedad y alcalinidad, los cuales son los más importantes que infieren en la calidad del agua para consumo humano.

Los promedios de los últimos meses (Enero-Mayo) en la planta Galán son de 6,98 UNT y 10,106 mg/L de CaCO₃, debido a estos promedios, se establece que el agua que abastece a la planta es una de las más difíciles para la coagulación y floculación (ver tabla 12), respecto a las otras tres clases de agua que pueden tratarse. Estas aguas son idóneas para sales de aluminio y en particular para el hidroxiclorigenato de aluminio (PAC) ya que este polímero se encuentra dentro de los rangos de pH recomendado para la coagulación y floculación, obteniéndose buenos porcentajes de remoción de turbiedad y color, ideales para aguas superficiales como la de la planta Galán. Se descartan las sales férricas, debido a su alto índice de hierro residual, también por dificultades de corrosión en la tubería de distribución, afectando simultáneamente el sistema de dosificación en solución y los equipos empleados para esta acción.

La EAAAZ actualmente se centra en el uso del PAC 03 debido a su amplio rango de pH (6-9) en el que puede tener buenos efectos en la remoción de turbiedad y

⁴⁰ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del Agua. Tercera Edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. ISBN, p. 245.

⁴¹ Ibid., p.248

color, los cuales son factores claves en el tratamiento de potabilización. Esta sal de aluminio es obtenida industrialmente a partir de la polimerización del hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$ con ácido clorhídrico de alta pureza. El PAC se empezó a utilizar debido a los mejores rendimientos presentados en comparación al alumbre (Sulfato de Aluminio). Para la selección final del coagulante a trabajar como opción diferente de experimentación, la EAAAZ suministrará una sal de aluminio por parte de INVERSIONES JVO, la cual es el PAC PRO en estado líquido, insumo dejado como muestra para la planta Regional del municipio de Cogua, esto con el fin de seleccionar las concentraciones que presentan los mejores resultados para la decantación de coloides y material particulado.

La concentración patrón para este coagulante (PAC PRO líquido) es de 5% (p/v) a la cual, para el ensayo de jarras, se diluyen 10 ml de esta solución patrón hasta completar 50 ml con agua destilada para obtener la solución de trabajo para los ensayos de jarras al 1% (p/v), donde esta solución no puede conservarse para su uso por más de 24 horas debido a que puede hidrolizarse y perder sus propiedades de desestabilización de partículas en el agua a tratar. La preparación del coagulante PAC PRO se evidencia en el **Anexo D**. Con el requerimiento de evidenciar mejor la concentración más adecuada de la alternativa propuesta como del floculante, se tendrá en cuenta los rangos entre 10 y 50 ppm como se muestra en la tabla 14 de dosis recomendadas para diferentes coagulantes y floculantes.⁴²

Tabla 14. Dosis recomendadas para coagulantes y floculantes

Insumos	Dosis recomendada (ppm)
Sales de aluminio	10-50
Sales de hierro	10-50
NaOH	10-50
Carbonato de sodio	5-20
Floculantes	0,5-5

Fuente. Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de agua. Separación de sólidos suspendidos por sedimentación. [En línea]. Disponible en <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/sedimentación3.pdf> Citado el 15 de abril de 2017.

Se escogerán las dosis que presenten mayores porcentajes de remoción de color y turbiedad, así como también dosificaciones que no varíen demasiado el rango de pH con respecto al inicial para el agua cruda y no supere porcentajes de variación de este parámetro en un 10% máximo, como se muestra en la formula siguiente.

⁴² INGENIERÍA DE TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUA. Separación de sólidos suspendidos por sedimentación. [En línea] <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/sedimentación3.pdf> [Citado el 15 de abril de 2017].

$$\% \text{ Cambio de pH} = \left(\frac{\text{pH inicial} - \text{pH final}}{\text{pH inicial}} \right) * 100\% \quad \text{Ec.3}$$

5.1.2 Selección de floculante. Estos compuestos químicos son aplicados como ayudantes de coagulación, para una mejor interacción entre las partículas desestabilizadas con el coagulante y hacer que sea mucho más fácil la aglomeración de estas partículas para que puedan decantar más rápido, debido a que en la floculación aumentan tanto su tamaño como su masa.

Los ayudantes de coagulación o floculantes como comúnmente se les llama son polímeros o polielectrolitos de elevados pesos moleculares. Los floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánicos naturales y orgánicos sintéticos.

5.1.2.1 Floculantes minerales. Se utiliza la sílice activada generalmente donde genera una neutralización parcial, donde se asocia mucho mejor con las sales de aluminio.

5.1.2.2 Floculantes orgánicos. Son macromoléculas de cadena larga y de alto peso molecular, estos actualmente están en fase de investigación para el tratamiento de aguas, algunos como alginatos (extracto de algas), almidones de extractos de granos y vegetales como derivados de la celulosa; tienen una desventaja la cual es que son de baja eficacia en los procesos de clarificación de agua.

5.1.2.3 Floculantes orgánicos sintéticos. Son solubles en agua y poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se les conoce como polielectrolitos. Según su carácter iónico pueden ser:

- Polielectrolitos no iónicos (poliacrilamidas)
- Polielectrolitos Aniónicos (copolímeros de acrilamida y ácido acrílico)
- Polielectrolitos Catiónicos (presencia de grupos amino)⁴³

Para la EAAAZ es esencial el uso de floculantes con fines de mejorar la eficiencia de remoción de coloides y material particulado en sus procesos llevados a cabo actualmente con polímeros orgánicos sintéticos, la planta Galán utiliza el POLIFLOC 2111 de carácter aniónico, generando puentes de gran tamaño que adsorben gran cantidad de partículas desestabilizadas para generar un floc de mejores características y poder decantar partículas más fácilmente. Este polímero es utilizado después de la adición del coagulante (PAC 03) como parte en el reforzamiento de las uniones y aumentar el número de microflocs. El POLIFLOC 2111 es un polímero conformado por copolímeros de acrilamidas que incrementa el drenaje por gravedad y en combinación con polímeros de alto peso molecular

⁴³ Ingeniería de aguas residuales/ Tratamiento fisicoquímico. [En línea]. <https://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico#2.2._Floculaci.C3.B3n.> [Citado el 15 de abril de 2017].

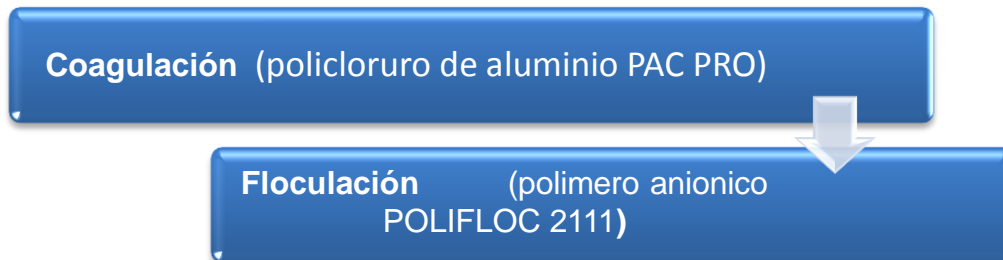
como el policloruro de aluminio logra un efecto sinérgico en la retención, desestabilización y precipitación de material particulado. Es utilizado en concentraciones menores o igual a 0,01 % (p/v) como lo es actualmente dosificado en la planta Galán.

El floculante utilizado para la experimentación llevada a cabo para este trabajo de investigación se mantendrá constante, el cual será el POLIFLOC 2111 de carácter aniónico de alto peso molecular y rangos de reacción de entre 7 a 9 unidades de pH.

Con los insumos obtenidos, se establece la alternativa de experimentación para llevar a cabo el proceso de potabilización de agua en las etapas de coagulación y floculación a escala laboratorio a fin de obtener un plan de mejoramiento en la consideración de la viabilidad de uso del PAC PRO en la línea de proceso llevados a cabo por la EAAAZ para la planta Galán.

Para las etapas llevadas a cabo en la evaluación técnica se evidencian los insumos químicos a utilizar para la experimentación en la figura 13.

Figura 13. Reactivos utilizados para la experimentación



6. EXPERIMENTACIÓN

En el desarrollo experimental de la evaluación técnica para las etapas de coagulación y floculación implementadas en el proceso de potabilización de agua en la planta Galán, se tiene en cuenta una metodología que sustente las condiciones y operaciones llevadas a cabo a nivel laboratorio para las etapas mencionadas, las cuales son fundamentales para suministrar agua de calidad a los usuarios en el municipio de Zipaquirá. Se presentarán las actividades necesarias en la evaluación de las etapas de coagulación y floculación en la planta, para obtener resultados que mejoren el proceso de tratamiento de agua cruda.⁴⁴

6.1 IDENTIFICACIÓN DE ANÁLISIS EN EL TEST DE JARRAS

En el desarrollo experimental llevado a cabo para la planta Galán se identificaron las técnicas analíticas y procedimientos necesarios para el tratamiento de aguas; como el reconocimiento de los equipos necesarios para llevar a cabo los análisis de agua cruda y agua tratada en cada una de las etapas de clarificación y potabilización. En las tres plantas adscritas a la EAAAZ, como la planta Alto del Águila, planta Regional y planta Galán se llevan a cabo entre tres y cuatro análisis fisicoquímicos diarios, en donde se cuantifican los parámetros de proceso como turbidez en (UNT), color en (UPC), pH, hierro y alcalinidad en (mg/L), donde se deben cumplir las condiciones necesarias de cada parámetro según la resolución 2115 de 2007 para la distribución del recurso hídrico a la población.

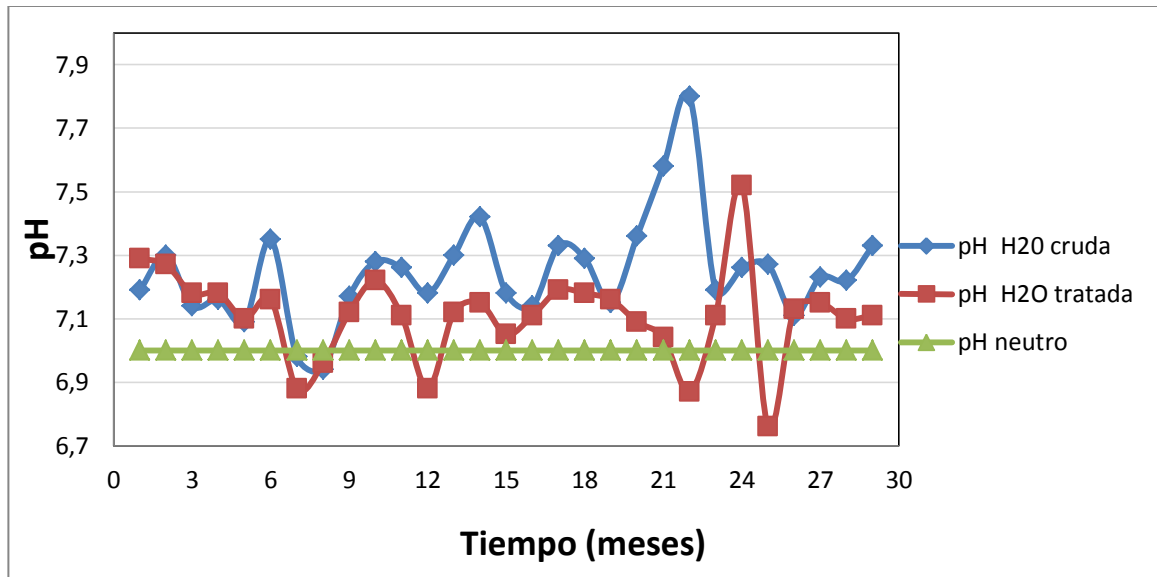
En el test de jarras llevado a cabo, se analizan las concentraciones y dosificaciones más adecuadas para cada uno de los insumos químicos utilizados actualmente (PAC 03), como también para los que se evaluarán en el presente trabajo teórico-experimental con el PAC PRO líquido y el POLIFLOC 2111.

6.2 ANÁLISIS AGUA POTABLE

De acuerdo con los registros de agua cruda y agua potable suministrados por la EAAAZ, durante las inspecciones hechas a la planta Galán los cuales se evidencian en el **Anexo A**, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la resolución 2115 de 2007 para el agua tratada en la planta. Se establecen las gráficas que denotan mejor la variación de cada parámetro para los años 2015, 2016 y los meses de enero a mayo de 2017. En la gráfica 2 se muestra la variación del pH en función del tiempo donde deben estar en un rango entre 6 y 9 unidades de pH.

⁴⁴ BUSTOS MONTAÑO, Viviana, (Propuesta de mejoramiento de la línea de insumos del proceso de tratamiento de agua potable en la planta regional de la EAAAZ). Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2016. p.74.

Grafica 2. Variación de pH para agua cruda y agua tratada



Se obtienen valores de pH promedio de entrada a la etapa de coagulación de 7,25 y 7,11 de salida para la de floculación y tiempo en sedimentación donde se puede analizar que su porcentaje de variación de pH es de:

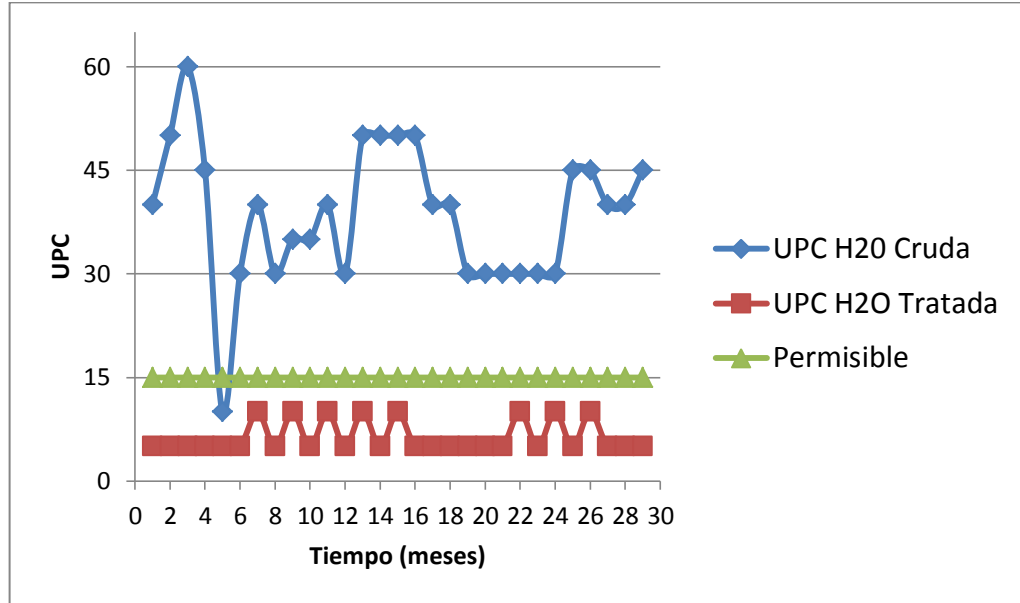
$$\% \text{ cambio de pH} = ABS \left(\frac{7,25-7,11}{7,25} * 100\% \right) = 1,93 \% \quad \text{Ec.4}$$

La resolución 2115 de 2007 y el RAS 2000, establecen un porcentaje máximo de variación de 10% para el cumpliendo según la norma; calculándose una media de 7,18 unidades de pH siendo en este caso un neutro aproximadamente, esta variable se encuentra dentro del rango estipulado durante el periodo de tiempo analizado.

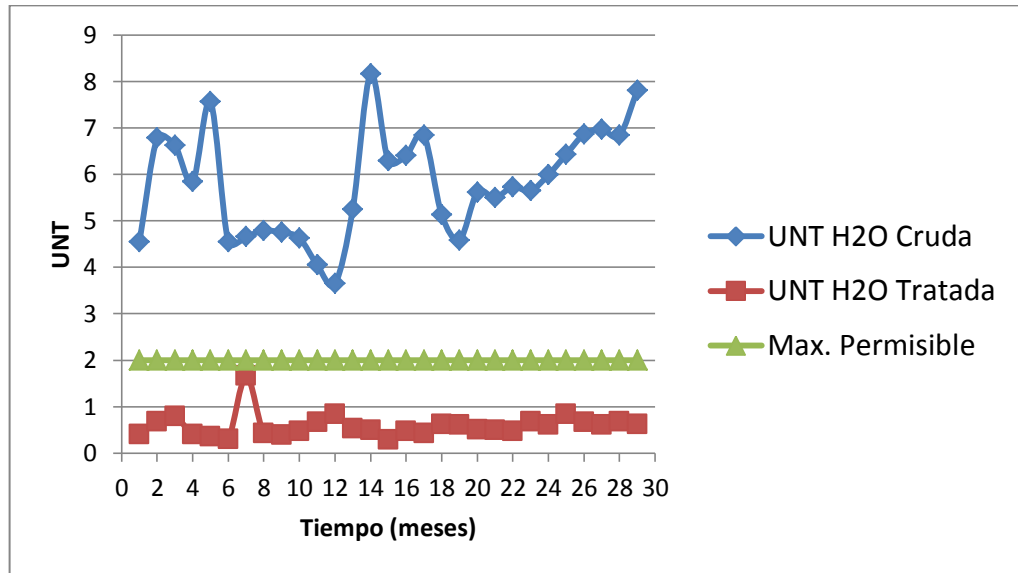
Para el color el cual es una variable importante debido a que por el contenido de sustancias en especial el hierro que le dan esta usual característica, en la planta Galán y gran mayoría de plantas, estas al igual que la turbiedad son las que ingresan a los procesos incumpliendo con la normatividad para el consumo humano según la gráfica 3 para el agua cruda. Al igual que el color, la turbiedad es la variable que más importancia tiene al momento de asegurar un proceso de calidad y eficiente en la remoción de materiales particulados y sustancias nocivas para el consumo humano, así como coloides que por tener casi la misma densidad del agua a tratar tienen tiempos de decantación demasiado altos incluso años, por lo que es de gran importancia la aplicación de químicos como las sales de aluminio y en este caso la evaluación del PAC PRO líquido; el tiempo analizado es de 29 meses para la planta Galán, observándose que tienen unidades de no conformidad con la norma para el agua cruda y de cumplimiento para el agua tratada, incluso antes de que entre en las etapas de filtración y desinfección

llevadas a cabo en la EAAAZ para la planta Galán, esto se puede evidenciar de mejor manera en la gráfica 4.

Grafica 3. Variación de color para agua cruda y agua tratada



Grafica 4. Variación de UNT para agua cruda y agua tratada



Se pueden observar las variaciones de unidades de turbiedad para el tiempo analizado como la diferencia entre épocas de alta y baja precipitación fluvial, en los meses comprendidos de febrero a mayo son las épocas donde se evidencias las más altas turbiedades (UNT) y unidades de color (UPC) que afectan las fuentes de abastecimiento para la planta Galán; dándose con frecuencia

problemas en las composiciones de material no sedimentable fácilmente con los métodos utilizados por la EAAAZ para la quebrada La Artesa, debido a problemas aguas arriba de industria agroindustrial (fertilizantes y aguas de proceso) y alimentaria (suero láctico) por lo que estas industrias vierten sus residuos a la quebrada e imposibilitan la normal eficacia de los métodos clarificación y potabilización del recurso en la planta Galán, estos inconvenientes no repercuten en la calidad del agua abastecida por la planta al municipio como lo expresado en la resolución 2115.

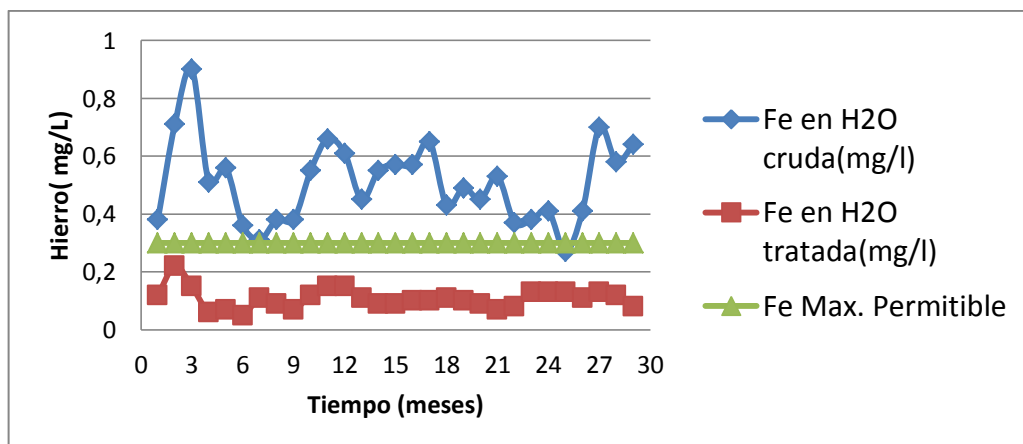
A continuación se expresaran los porcentajes de remoción promedio en turbiedad y color para la planta Galán gracias a los datos proporcionados en el **Anexo A** por la empresa de acueducto de Zipaquirá.

$$\% \text{ remocion turbiedad} = \left(\frac{5,81-0,58}{5,81} * 100\% \right) = 90,02\% \quad \text{Ec. 5}$$

$$\% \text{ remocion Color} = \left(\frac{38,62-6,38}{38,62} * 100\% \right) = 83,48\% \quad \text{Ec. 6}$$

Para aguas superficiales como las fuentes de abastecimiento a la planta Galán en su trayecto pueden disolver metales pesados como el hierro acuoso para lo cual la resolución permite un máximo de 0,3 mg/L de este mineral para el agua con fines de consumo masivo como se puede observar en la gráfica 5, lo cual da en concentraciones mayores a ésta un sabor metálico y desagradable teniendo repercusiones adicionales de aumento de color, el cual se torna un color marrón en el fluido ocasionando afectaciones de manchas en la ropa e incrustaciones en la tubería de abastecimiento, baños, calentadores entre otros.⁴⁵

Grafica 5. Variación de hierro soluble para ambas aguas



⁴⁵ GARVIN, Karen S. Efectos en la salud del hierro en el agua potable. [En línea]. Disponible en :< http://muyfitness.com/efectos-salud-del-lista_21755/> [Citado el 15 de mayo de 2017].

La alcalinidad es una variable fisicoquímica la cual puede definirse como la capacidad de poder neutralizar ácidos o mejor su capacidad para reaccionar con iones de hidrógeno o la capacidad de aceptar protones y se cuantifica como el contenido total de sustancias alcalinas (OH^-) en un cuerpo de agua. Tiene importancia en las etapas de coagulación y floculación presentes en el actual trabajo para la planta Galán.

Los insumos químicos utilizados como coagulantes en los procesos de potabilización reaccionan con el agua para formar precipitados de hidróxidos insolubles.⁴⁶ A fin de que las etapas tengan alta efectividad es necesaria de la alcalinidad tanto antes como después, debido a que algunos coagulantes disminuyen drásticamente el pH ocasionando costos operativos adicionales para los procesos implementados.

La forma común de cuantificarla es por la cantidad de bicarbonato HCO_3^- , por lo que es función del pH y le da una acción de *buffer** para que el agua esté en un rango de pH adecuado en el que los coagulantes puedan ser más efectivos en la remoción de coloides y material particulado.

Las reacciones de hidrólisis son:



Y las reacciones de alcalinidad de clase amortiguadora para aguas naturales superficiales como las de la planta Galán son de la siguiente forma:

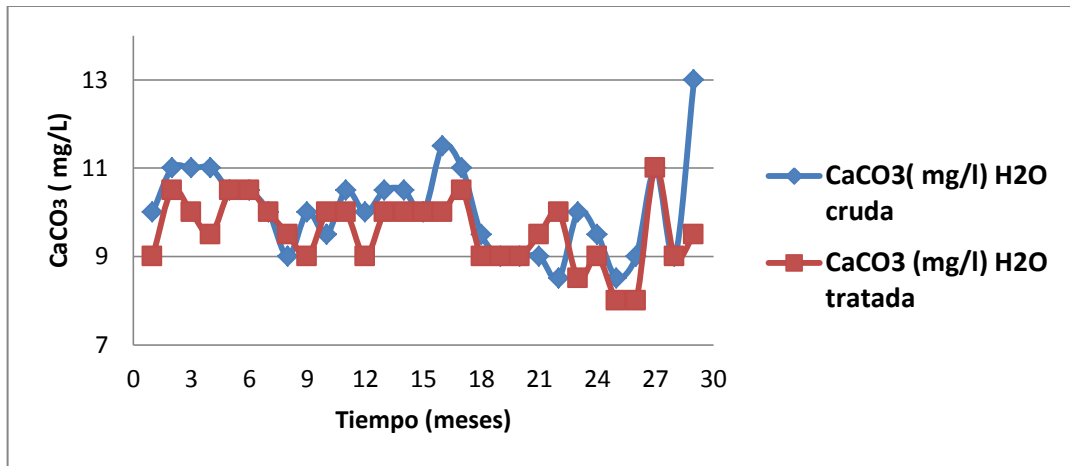


Donde la cantidad de PAC a utilizar depende mayoritariamente de la turbiedad, el color y alcalinidad del agua cruda a tratar. La gráfica 6 muestra la variación de la alcalinidad con respecto al tiempo para datos suministrados por la EAAZ.

⁴⁶ SASTOQUE SUAREZ, Isabel, USCATEGUI DIAZ, Lina, Mejoramiento de las etapas de coagulación y floculación en el proceso de tratamiento de agua potable en la planta TIBITOC. Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2003. p 5.

**buffer*: es una disolución que por reacción o combinación de compuestos tiene la propiedad de mantener el pH de la mezcla prácticamente constante.

Grafica 6. Variación de alcalinidad cruda y tratada.



Obteniéndose un valor promedio de 9,57 mg/L de CaCO_3 debido a que los niveles de concentración del ión hidronio dependen de los iones que dan la alcalinidad al agua como el ión bicarbonato (HCO_3^-) y el ión carbonato (CO_3^{2-}), el efecto de estos iones es de mantener el cambio de pH en menos de 10% cuando las concentraciones de ambos son iguales.⁴⁷

6.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVA

Se evaluará el coagulante PAC PRO líquido como posible alternativa de dosificación, el cual es suministrado por la empresa INVERSIONES JVO SAS a la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado del municipio de Zipaquirá; se llevara a cabo esta evaluación recurriendo a un método de simulación a escala, el cual es el test de jarras, para obtención de la dosificación de producto coagulante y floculante más eficiente en la remoción de coloides y material particulado para mejorar las condiciones actuales en estas dos etapas de proceso para la planta Galán.

6.3.1 Evaluación de coagulante. Se realiza por determinación de la dosis adecuada del PAC PRO en mg/L que genera una mejor desestabilización de coloides y a un bajo tiempo de precipitación en el análisis de jarras con la necesidad de que se genere un buen floc de mejor consistencia y peso; procurando que el mayor número de estos flocs queden retenidos en el fondo de las jarras.

⁴⁷ Ibíd. p.3.

6.3.2 Evaluación de floculante. Se realiza por determinación de la dosis adecuada del producto en mg/L de POLIFLOC 2111 de carácter aniónico que mejor reacciona con el coagulante para tener un efecto sinérgico y poder coagular más eficientemente los coloides obteniéndose mejor decantación de estos materiales disueltos.

6.4 ENSAYO DE JARRAS

En este análisis se simula las condiciones a las que trabajaría la planta con una concentración dada de coagulantes y floculantes en seis jarras circulares 1000 ml de capacidad mostradas en la figura 14, aparentando condiciones de proceso que se tendría en las unidades de mezcla rápida y de floculación en la planta. Es un ensayo de laboratorio el cual tiene en cuenta variables de diseño como turbiedad, color, hierro y alcalinidad debido a que esta sal de aluminio reacciona muy bien a unidades de pH aproximadamente neutro, el cual está a 7,15 unidades actualmente.

En este ensayo se cuantifican las dosis en mg/L o ppm de los insumos a tratar, pH recomendado, tiempos de mezcla rápida, de mezcla lenta y eficacia de remoción de material particulado disuelto y coloides.

Figura 14. Equipo de experimentación para ensayo de jarras



Las condiciones de operación tenidas en cuenta para la configuración del equipo de análisis fueron obtenidos en el manual de operación y calidad de la EAAAZ y verificados por el personal técnico de la planta; estas condiciones se pueden ver en la tabla 15, como también los materiales y equipos a utilizar en los análisis físicos y químicos que pueden verse en la tabla 16.

Tabla 15. Condiciones de operación del equipo

Configuración de trabajo	Valor constante
Concentración de coagulante PAC PRO	1%
Concentración de floculante POLIFLOC 2111	0,01%
Velocidad de agitación en mezcla rápida	100 rpm
Tiempo de mezcla rápida	1 minuto
Velocidad de agitación en mezcla lenta	40 rpm
Tiempo de mezcla lenta	15 minutos
Velocidad sedimentación	0 rpm
Tiempo de sedimentación	15 minutos

Tabla 16. Materiales, equipos e insumos químicos utilizados

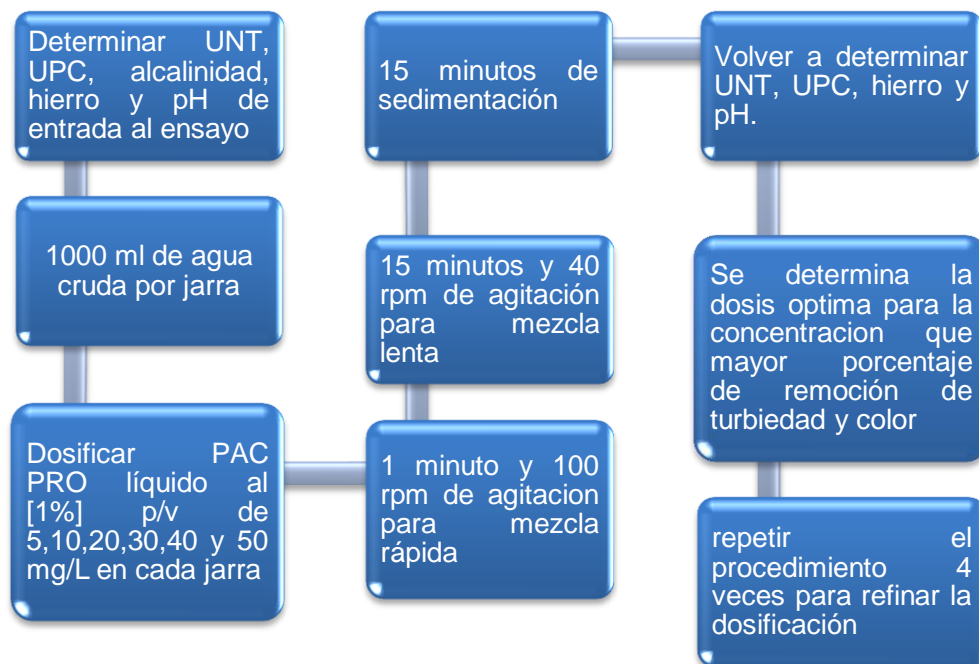
Tipo	Especificación
Equipos	Prueba de jarras
	Turbiquant 1500T
	Fotómetro Merck
	pH-metro
	Balanza manual
Insumos químicos	Policloruro de Aluminio PAC PRO líquido
	Polímero Aniónico POLIFLOC 2111
	Indicador de Hierro Fe ⁻¹ REAGEN
	Indicador Tashiro
	Agua cruda (fuente de entrada)
Materiales	Buretas
	Pipetas graduadas
	Probetas
	Balones aforados
	Vidrio reloj
	Tubos de ensayo

6.4.1 Determinación de dosis óptima de coagulante PAC PRO Líquido. Para poder determinar la dosificación más idónea del coagulante a utilizar como alternativa de evaluación, se desarrolla a partir de los siguientes pasos:

- Determinar la turbidez, color, pH, alcalinidad y hierro en sus respectivas unidades para una muestra de 0,5 litros de agua cruda.
- Adicionar 1000 ml de agua cruda en cada una de las seis jarras del equipo de análisis con sus paletas de agitación.
- Utilizar coagulante PAC PRO líquido de una concentración de 1% obtenida de una solución patrón de 5%, especificando en cada jeringa dosificadora

- concentraciones de 5, 10, 20, 30, 40 y 50 ppm en orden creciente desde la jarra 1 hasta la jarra 6 del producto a evaluar.
- Paralelamente al literal c poner en marcha el equipo de jarras operando por un minuto la mezcla rápida a una velocidad de 100 rpm para la etapa de coagulación.
 - Trascurrido la mezcla rápida se disminuye la velocidad de agitación a 40 rpm por 15 minutos para dar inicio a la simulación de mezcla lenta para la etapa de floculación
 - Después se da inicio a los 15 minutos de sedimentación.
 - Se vuelve a determinar la turbidez, color, pH, alcalinidad y hierro para una muestra de 250 ml de cada una de las jarras registrando los resultados.
 - Se determina la dosis óptima de coagulante a la que menor turbidez y color registre para el tratamiento con las condiciones y caudal de diseño de la planta
 - Se repite el procedimiento 4 veces para refinar la dosificación y obtener cuantitativamente una mejor eficacia del producto.

Figura 15. Flujograma para dosis óptima de PAC PRO



6.4.2 Determinación de dosis óptima de floculante polímero aniónico POLIFLOC 2111. Para poder determinar la dosificación más idónea del floculante a utilizar como alternativa de evaluación, se desarrolla a partir de los siguientes pasos:

- a. Ya determinada la concentración de PAC PRO se procede a determinar la concentración de POLIFLOC 2111 que servirá de ayuda en la desestabilización y agregación de material particulado, disuelto y coloides.
- b. Se determinan variables de entrada como turbidez, color, pH, alcalinidad y hierro en sus respectivas unidades para una muestra de 0,5 litros de agua cruda.
- c. Adicionar 1000 ml de agua cruda en cada una de las seis jarras del equipo y acondicionar las paletas de agitación.
- d. Adicionar la dosis de PAC PRO determinada en el numeral 6.4.1 a cada una de las seis jarras.
- e. Paralelamente poner en marcha el equipo de jarras para la mezcla rápida durante un minuto a una velocidad de 100 rpm.
- f. 5 segundos después se adicionan las dosis de POLIFLOC 2111 de 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, y 3 mg/L a cada una de las seis jarras en orden ascendente.
- g. Se vuelven hacer los pasos e, f, y g del literal 6.4.1
- h. Se determina la dosis óptima de floculante que mejor porcentajes de remoción en turbidez y color arroja para una muestra de 250 ml de cada jarra.
- i. Se repite este procedimiento 2 veces.

6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el tiempo de evaluación fisicoquímica de las etapas de coagulación y floculación para el agua cruda de la planta Galán de tomaron datos sobre la fuente de captación y desarrollo de las etapas mencionadas, se midieron y observaron los siguientes datos para las variables de pH, turbiedad, color, hierro y alcalinidad para el producto policloruro de aluminio PAC PRO en estado líquido como alternativa de suministro a la planta Galán como sustitución de PAC 03 actualmente empleada por las plantas de la EAAAZ.

6.6 PROCESO DE LA ALTERNATIVA

La evaluación del PAC PRO en estado líquido suministrado por INVERSIÓNES JVO SAS como alternativa de uso en la planta Galán a una concentración de 1% con destino a pruebas de laboratorio y floculante de carácter aniónico POLIFLOC 2111 al 0,01% de concentración, estos reactivos se preparan en el laboratorio de la planta como se describe en el **Anexo D**.

6.6.1 Dosis adecuada Policloruro de aluminio líquido (PAC PRO). De acuerdo con los resultados obtenidos se realiza el ensayo variando la concentración del producto de 5 hasta 50 mg/L para una muestra de 5,97 UNT, 8 mg/L de alcalinidad, 20 de UPC, 7,19 unidades de pH y un hierro de 0,78 mg/L como condiciones iniciales y los resultados utilizando el PAC PRO se pueden ver en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados para concentraciones de 5 a 50 mg/L

Característica	Número de ensayo					
	1	2	3	4	5	6
PAC PRO Líquido (mg/L)	5	10	20	30	40	50
Flóculos en primer tiempo min.	5	3	3	8	9	9
Índice willcom	0	2	4	0	0	0
Color UPC	15	10	5	15	15	15
Turbidez UNT	3,23	1,26	1,17	3,71	4,82	4,93
pH	7,22	7,27	7,18	7,57	7,33	7,19
Hierro mg/L	0,09	0,12	0,11	0,15	0,17	0,12
% remoción UNT	45	78,89	80,40	37,86	19,26	17,42
% remoción UPC	25	50	75	25	25	25
% cambio de pH	0,41	1,11	0,13	5,29	1,95	0

Como lo muestran los datos, se obtuvieron mayores remociones de turbiedad y color para las concentraciones de 10 y 20 ppm con turbiedades de 1,26 y 1,17 respectivamente para UNT y 10 y 5 respectivamente para UPC calculándose una dosis a aplicar de 912 ml/min para un caudal de 38 L/s y una concentración media de 15 mg/L, durante este ensayo se utiliza la siguiente fórmula obtenida por la EAAAZ para dosificaciones en planta, esta fórmula se explica en el **Anexo E** para cada a de las variables:

$$dosis\ óptima = \frac{Q * C * \left(\frac{svte.}{sto.}\right) * T_{rxn}}{V} = ml/min \quad Ec.11$$

Dónde:

Q= Caudal de diseño en (L/s).

C= dosificación adecuada en el ensayo de jarras (mg/L).

Svte.= Es la cantidad de solvente en el tanque dosificador, para planta Galán es de 500 litros.

Sto.= Es la cantidad de reactivo o producto químico a disolver en el tanque dosificador (g, kg).

T_{rxn}= Es el tiempo en el cual se hace la medición en planta para corroborar si la dosificación óptima se está llevando a cabo (60 s).

V= Volumen del recipiente donde se llevó a cabo la simulación (ml).

Con fines de aumentar la precisión en la cuantificación de la dosis adecuada se realiza otro análisis variando la concentración entre 10 y 21 mg/L a una UNT y UPC inicial de 4,01 y 20 respectivamente; mas una concentración de 0,91 mg/L de hierro y 8 mg/L de alcalinidad. El mayor porcentaje de remoción de turbiedad y color fue la de 16 mg/L para una turbiedad final de 0,86 UNT, <5 UPC de color y un hierro de 0,07 mg/L, estos datos se observan en la tabla 18. La dosis óptima se calcula por medio de la ecuación 11, para un caudal de 39,39 L/s la dosificación de 756,27 ml/min de PAC PRO líquido y una alcalinidad de 9,25 mg/L.

Tabla 18. Resultados para concentraciones de 11 a 16 ppm

Característica	Número de ensayo										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PAC PRO Líquido (mg/L)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Flóculos en primer tiempo min.	8	5	5	4	8	7	7	8	7	7	7
Índice Willcom	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2
Color UPC	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Turbidez UNT	1,33	1,42	1,48	1,01	0,97	0,86	1,97	1,07	1,13	1,09	1,33
pH	7,12	7,18	7,22	7,29	7,41	7,25	7,2	7,19	7,2	7,2	7,2
Hierro mg/L	0,10	0,11	0,09	0,10	0,09	0,07	0,11	0,10	0,13	0,12	0,11
% remoción turbidez	66,83	64,59	63,0	74,8	75,8	78,55	58,7	77,56	76,21	77,14	72,1
% remoción de color	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Las cantidades de dosificación van disminuyendo a medida que se obtiene una mejor cantidad de producto a aplicar sobre el agua cruda de ensayo como el caso de la dosis de 16 mg/L de PAC PRO al 1%, esta concentración se fija para el siguiente ensayo en cada una de las jarras y con el fin de encontrar la dosificación adecuada de floculante.

6.6.2 Dosis adecuada de Polímero Aniónico (POLIFLOC 2111) + (PAC PRO a 16 ppm). La dosificación de producto floculante se obtiene de la variación la concentración de este de 0,5 mg/L hasta 3 mg/L con incrementos de 0,5 unidades respectivamente y una concentración fija de 16 mg/L de coagulante. La dosificación adecuada será la que presente menor turbidez y color y estén dentro del rango establecido según la resolución 2115. Los datos se pueden verificar en la tabla 19.

Tabla 19. Determinación de dosis adecuada de POLIFLOC 2111 y PAC PRO

Condiciones iniciales	Turbiedad(UNT)	Color (UPC)	Alcalinidad (mg/L)	Hierro (mg/L)	pH
	4,32	20	8	0,93	7,35

Característica	Número de ensayo					
	1	2	3	4	5	6
PAC PRO Líquido (mg/L)	16	16	16	16	16	16
POLIFLOC 2111 (mg/L)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Flóculos en primer tiempo min.	10	10	10	10	5	6
Índice willcom	6	6	6	4	4	4
Color UPC	<5	10	10	10	<5	<5
Turbidez UNT	1,62	3,86	1,84	0,55	2,23	0,61
pH	7,21	7,32	7,07	7,01	6,69	6,78
Hierro mg/L	0,14	0,26	0,10	0,05	0,11	0,06
% remoción turbidez	62,5	10,65	57,41	87,27	48,34	85,88
% remoción de color	75	50	50	50	75	75
% cambio de pH	1,91	0,39	3,81	4,63	8,98	7,76

La dosis del ensayo dos, presenta los mayores valores de turbiedad, color y hierro ocasionando porcentajes de remoción bastante bajos, aunque el menor en el cambio de pH; se analizaron las concentraciones de los ensayos 4 y 6 son 2 mg/L y 3 mg/L de POLIFLOC 2111 al 0,01%, donde se descartó la de 2 mg/L debido a que mostraba un mayor color con 10 UPC pero de menor turbiedad con 0,55 UNT.

Durante el ensayo, la dosificación con mejores resultados fue la del ensayo 6, utilizando coagulante PAC PRO y floculante POLIFLOC 2111 con 3 mg/L, obteniéndose porcentajes de remoción de 85,88 % para turbidez, 75 % para color y un cambio de pH con respecto al inicial de 7,76 %; estos valores están de acuerdo a las normas establecidas en la resolución 2111 de 2007 presentada en el marco legal de este escrito.

La dosificación de 3 ppm a 0,01% de concentración tiene una relación soluto solvente de 8,33 con lo que se calcula la dosis óptima de POLIFLOC 2111 con la ecuación 11 y un caudal de 39,39 L/s obteniéndose un resultado de 59,06 ml/min para suministrar a planta.

7. BALANCE DE MATERIA

Con base en la experimentación realizada en la planta Galán para la evaluación técnica del coagulante policloruro de aluminio PAC PRO líquido y el polímero aniónico POLIFLOC 2111 se utilizará como caudal de entrada 39,4 L/s, esto, con el fin de calcular la cantidad de hierro por día presente en el agua cruda y después de pasar por las etapas de coagulación, floculación y sedimentación obtenidos durante el último ensayos; así como las cantidades de productos químicos utilizados por día a escala planta utilizando las dosis de 16 mg/L de PAC PRO y 3 mg/L de POLIFLOC 2111.

- Agua cruda

$$39,4 \frac{l}{s} * \frac{3600s}{1 h} * \frac{24 h}{1 dia} = 3.404.160 \frac{litros}{dia}$$

- Hierro de entrada:

$$0,93 \frac{mg}{l} * 3.404.160 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 3,17 \frac{kg de Fe}{dia}$$

- Hierro de salida de las etapas:

$$0,06 \frac{mg}{l} * 3.404.160 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 0,204 \frac{kg de Fe}{dia}$$

- Coagulación con policloruro de aluminio PAC 03 (Caracterización fisicoquímica):

$$9 \frac{mg}{l} * 3.404.160 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 30,64 \frac{kg de PAC 03}{dia}$$

- Coagulación con policloruro de aluminio liquido PAC PRO (Experimentación):

$$16 \frac{mg}{l} * 3.404.160 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 54,47 \frac{kg de PAC PRO}{dia}$$

- Floculación con polímero aniónico POLIFLOC 2111 (Experimentación):

$$3 \frac{mg}{l} * 3.404.160 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 10,21 \frac{kg de POLIFLOC 2111}{dia}$$

Los valores obtenidos del balance de materia se muestran en la tabla 20, con cantidades operacionales de 54,47 kg de coagulante/día y 10,21 kg de floculante/día, teniendo en cuenta que estos valores cambian en función de las condiciones iniciales del proceso de tratamiento y del caudal de entrada al sistema.

Las cantidades de policloruro de aluminio PAC PRO y POLIFLOC 2111 superan en más del doble las cantidades diarias utilizadas en la operación de las etapas actualmente en la planta Galán, por lo que no se recomiendan utilizarlos bajo las especificaciones hechas, debido a que se utilizan 30,64 kg/día de PAC 03 y 0,06 kg /día de POLIFLOC 2111 los cuales deben representar costos operativos mucho menores como se podrá apreciar en el siguiente capítulo de evaluación financiera del insumo a utilizar como alternativa.

Tabla 20. Balance de materia para los reactivos utilizados y el hierro en solución

Compuesto químico	Entrada	Genera	Acumula	Salida	Total
HIERRO	$3,17 \frac{kg \text{ de Fe}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de Fe}}{dia}$	$2,966 \frac{kg \text{ de Fe}}{dia}$	$0,204 \frac{kg \text{ de Fe}}{dia}$	$3,17 \frac{kg \text{ de Fe}}{dia}$
PAC 03	$30,64 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$30,64 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$
PAC PRO	$54,47 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$	$54,47 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$
POLIFLOC 2111	$10,21 \frac{kg \text{ de P. 2111}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de P. 2111}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de P. 2111}}{dia}$	$0 \frac{kg \text{ de P. 2111}}{dia}$	$10,21 \frac{kg \text{ de P. 2111}}{dia}$

No se generan ni se acumula materia para el PAC 03, PAC PRO y POLIFLOC 2111 debido a que no se transforman en otras especies químicas, sino que estos materiales en el agua generan especies hidrolizadas de aluminio que son capaces de desestabilizar eléctricamente los coloides; para el hierro se acumula un total de 2,966 kg por día, el cual es sedimentado en el fondo de las unidades de floculación y sedimentación en lodos que posteriormente son evacuados de las unidades cuando se hace limpieza y mantenimiento a toda la planta cada 4 meses.

8. ANÁLISIS DE VIABILIDAD FINANCIERA

Para obtener valores monetarios sobre la posible implementación del PAC PRO líquido en la planta Galán, se necesita del costo por kilogramo del producto para poder tener una perspectiva global sobre la inversión que debería hacerse por parte de la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá en la planta Galán para el coagulante evaluado y no se proponen cambios en la infraestructura de la planta, tampoco en los tanques, y el sistema de dosificación actual no tendrían que verse afectados debido al cambio de producto para la implementación del proceso de potabilización.

Se utiliza un caudal de 39,39 L/s obtenido durante el tiempo de evaluación del PAC PRO en la planta Galán; se utilizarán las dosificaciones obtenidas en la experimentación las cuales fueron de 16 mg/L de PAC PRO y 3 mg/L de POLIFLOC 2111, estos valores se pueden apreciar en la tabla 21.

Tabla 21. Dosificación de los insumos empleados a escala laboratorio

Caudal		
Agua cruda	L/s	39,39
	l/día	3.404.160
Insumo	Unidades	Dosificación
Coagulante	mg/L	16
Floculante	mg/L	3

Con las dosificaciones diarias obtenidas por el balance de materia en el capítulo 7, se obtienen las cantidades de coagulante y floculante diarias para el proceso de potabilización en la planta; estos datos se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Dosificación diaria de los insumos a escala planta

	Producto químico	Cantidad	Unidades
Coagulante	PAC PRO	54,47	Kg/día
Floculante	POLIFLOC 2111	10,21	Kg/día

Los datos presentados en la tabla 21 son para dosificación diaria por lo que es necesario multiplicarlos por 30 días y por 12 meses con fin de poder tener los valores de dosificación anual de los insumos evaluados. Se determinaron dosis de 19609,2 kg de PAC PRO y 3675,6 kg de POLIFLOC 2111; en el **Anexo F** se presentan las cotizaciones para el PAC PRO y el PAC 03 por cada kilogramo de producto, a este análisis se determina los costos antes del IVA y después del IVA el cual para el año 2017 es del 19%.

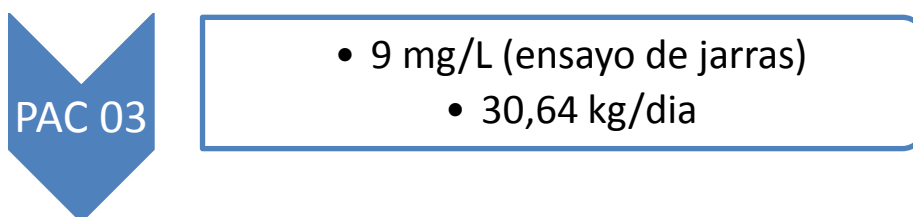
Se obtienen costos de \$ 1.750 por cada kilogramo de PAC PRO líquido suministrado por INVERSIONES JVO, para el precio del floculante polímero aniónico por kilogramo, es proporcionado gracias a la EAAAZ, el cual es de \$17000, con estos precios se puede calcular el costo anual total de los insumos, los cuales se aprecian en la Tabla 23 .

Tabla 23. Costo de insumos químicos

	PAC PRO	POLIFLOC 2111	
Unidades	Kg	Kg	
Costo	\$1.750,00	\$17.000,00	
Cantidad diaria	54,47	10,21	
Cantidad anual	19.609,2	3.675,6	TOTAL
costos antes de IVA 19%	\$34.316.100,00	\$62.485.200,00	\$96.801.300,00
Costos después de IVA 19%	\$40.836.159,00	\$74.357.388,00	\$115.193.547,00

El producto químico utilizado en la evaluación PAC PRO, tiene una dosificación mayor en mg/L que la que actualmente se utiliza de PAC 03, pero aun así cumple con las cantidades establecidas en la resolución 2115 de 2007 como norma de calidad para el suministro del recurso hídrico al municipio; como lo establecido en el diagnostico actual de la planta, se efectúan las cantidades actuales del PAC 03 para la planta Galán evidenciados en la figura 16.

Figura 16. Cantidades de PAC 03 actualmente utilizados en planta Galán



Gracias a las cotizaciones suministradas por la EAAAZ se obtuvieron los costos del PAC 03 que actualmente se utiliza en la planta Galán, la empresa que suministra el PAC es LATINOAMERICANA DE AGUAS LTDA, la cual tiene un precio de venta por kilogramo de producto de \$3.142,00. En la tabla 24 se observan los costos anuales de este producto.

Tabla 24. Costos de insumos actuales

	PAC 03	POLIFLOC 2111	
Unidades	Kg	Kg	
Costo	\$3.142,00	\$17.000,00	
Cantidad diaria	30,64	0,06	
Cantidad anual	11.030,4	21,6	TOTAL
Costos antes de IVA 19%	\$34.657.516,8	\$367.200,00	\$35.024.716,8
Costos después de IVA 19%	\$41.242.444,99	\$436.968,00	\$41.679.412,99

Claramente se observa que el costo anual del PAC 03 y POLIFLOC 2111 es mucho menor que la evaluación técnica con el PAC PRO y el POLIFLOC 2111, lo que hace que el uso de la alternativa propuesta es inviable económicamente, junto con dosificaciones que superan demasiado las actuales llevadas a cabo por la planta Galán y con porcentajes de remoción más bajos en turbidez y color, agregando, que este producto puede generar flocs demasiado tarde, lo que ocurriría que empezara el proceso de desestabilización y decantación de coloides al final del sedimentador.

Teniendo en cuenta las tablas 23 y 24 se realiza un comparativo sobre los costos para la alternativa propuesta y los insumos actualmente usados por la planta Galán, estos valores se presentan en la tabla 25.

Tabla 25. Consolidado de costos

Producto Químico	Antes de IVA	Después de IVA
PAC PRO + POLIFLOC 2111	\$96.801.300,00	\$115.193.547,00
PAC 03 + POLIFLOC 2111	\$35.024.716,8	\$41.679.412,99

Con base en los costos de los insumos químicos a utilizar como propuesta para la implementación en la planta Galán se observa que son \$73.514.135,00 superiores a los actuales lo cual no es beneficioso para la EAAAZ, debido a que PAC PRO líquido es más barato pero según la experimentación supera la dosificación promedio actual de 9 mg/L de PAC 03 y pasa 16 mg/L de PAC PRO como lo confirma la tabla 24; el producto arroja resultados de turbidez y color dentro de la norma establecida pero no mejores que los actuales por el PAC 03, con lo que se descarta el producto alternativa como posible cambio a implementar en la planta.

9. CONCLUSIONES

- A partir del diagnóstico operativo hecho a la planta de potabilización de agua Galán, se determinó que utiliza las operaciones unitarias básicas para el proceso de tratamiento de aguas superficiales crudas como desarenado, aireación, coagulación, floculación, filtración y desinfección utilizando una sal de aluminio trivalente como el policloruro de aluminio PAC 03 donde se obtuvieron resultados como 0,31 UNT, <5 UPC, 8 mg/L de alcalinidad, 0,09 mg/L de hierro, y un pH de 7,31 los cuales son valores que están dentro de lo permisible según la normativa nacional como la resolución 2115 de 2007.
- El mecanismo de coagulación que predomina en las plantas de la EAAAZ, son la combinación de adsorción-neutralización y barrido, con una dosificación de 9 ppm de policloruro de aluminio PAC 03 para un caudal de 39,39 L/s.
- Se presentaron mayores porcentajes de remoción en cuanto a la variable de turbiedad de 93,5 % y color de 87,5% para el PAC 03, valores que son mayores y de mejor calidad de agua en comparación al PAC PRO líquido; el PAC 03 forma flocs más estables y claros, teniendo un índice de Willcomb de 6.
- El PAC PRO presentó porcentajes de remoción de 78,55% para turbiedad y de 75% para el color, los cuales no son de baja eficacia pero si menores que los presentados por el PAC 03 que fueron de 82,46% para turbiedad, 90% para color y no varió el pH en más de 1%; lo que sí ocurrió con el PAC PRO en porcentajes de 7 y hasta 9 % siendo un 10% el máximo cambio de esta variable para el uso de sales de aluminio.
- Los resultados obtenidos para el PAC PRO no fueron los esperados, debido a que para las condiciones del agua cruda de la planta superan en más del doble las dosificaciones de los insumos químicos, tales como 30,64 kg/día y 0,06 kg/día para el PAC 03 y POLIFLOC son mucho menores que los de PAC PRO que fueron de 54,47 kg/día y de 10,21 kg/día de POLIFLOC donde este último supero demasiado la dosificación según el balance de materia hecho con los datos de la simulación en el ensayo de jarras.

- Según la anterior es de esperarse que a mayor dosificación de coagulantes y floculantes mayor es el costo de estos, con respecto a esto se puede decir que las dosificaciones obtenidas en la experimentación superaron las actuales y los costos de los insumos químicos superaron en \$73.514.135,00 los actuales, con lo que se concluye que no son viables para las intenciones de la EAAAZ en reducir costos pero sin afectar la calidad del agua suministrada al municipio.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la compra de una planta generadora de energía eléctrica en caso de que cuando se interrumpa el suministro público de energía se pueda garantizar el funcionamiento de los instrumentos de dosificación, medición y análisis en el laboratorio y demás sitios de la planta para garantizar el tratamiento y suministro del recurso hídrico potable al municipio sin inconvenientes.
- Es necesario que la planta Galán tenga un sistema de monitoreo automatizado para el cuarto de dosificación de químicos con fines de aumentar la precisión y disminuir el error en el control del proceso de potabilización a fin de garantizar una mejor calidad y seguridad de los procesos en cada etapa llevada a cabo en la planta.
- Es necesario que la preparación de las soluciones de trabajo a nivel laboratorio en los ensayos de jarras sean lo más exactas posibles en cuanto al pesaje de reactivos y aforo con agua destilada para garantizar la concentración de los coagulantes y floculantes para un adecuado análisis en los ensayos.
- Realizar inversión en el equipo espectrofotométrico para mejorar las mediciones de color (UPC) ya que el actual de la planta Galán no cuenta con la curva necesaria para la medición de esta variable calibrada arrojando datos inciertos y no veraces.
- Se recomienda hacer mantenimiento cada mes de los dispositivos dosificadores, como de los tanques de mezclado de químicos con el fin de mejorar el funcionamiento de estos ya que pueden haber impurezas o materiales que afecten estos dispositivos obstaculizando el normal funcionamiento e interfiriendo en la dosis a aplicar a escala planta.
- Con la obtención de variables y dosificación adecuada de coagulantes y floculantes se debería hacer un estudio técnico sobre la disposición y análisis de los lodos para un mejor aprovechamiento de estos residuos del proceso de potabilización de agua.
- Se recomienda realizar un trabajo de investigación en la planta para analizar la posible eliminación del POLIFLOC 2111 por parte de la empresa de acueducto.

BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA DE ZIPAQUIRA-CUNDINAMARCA. [En línea]
<http://www.eaaaz.com.co/index.php/2-uncategorised/108-captación-y-aducción.html> [Citado el 12 de febrero de 2017]

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill-Interamericana, 3a Edición, Bogotá, Colombia, 2000, p.99- 110.

_____.Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Mc Graw Hill Bogotá. 2000. Tomo I. p. 362

BIBLIOTECA DIGITAL ILCE. El agua y la vida. [En línea]
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec6.html> [Citado el 17 de Febrero de 2017].

BUSTOS MONTAÑO, Viviana, (Propuesta de mejoramiento de la línea de insumos del proceso de tratamiento de agua potable en la planta Regional de la EAAAZ). Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2016. p.74

INGENIERÍA DE TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS. Separación de sólidos suspendidos por sedimentación. [En línea]
<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/sedimentación3.pdf> [Consultado el 4/10/2017].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de Tesis, trabajos de grado, trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá D.C.: El Instituto, 2008. p.110

_____. Referencias Bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613 [En línea] [Consultado 14 de Abril de 2017]. Disponible en internet:

[http://www.politecnicojic.edu.co/imagenes/stories/politecnico/biblioteca/NTC 5613.](http://www.politecnicojic.edu.co/imagenes/stories/politecnico/biblioteca/NTC%205613)

_____. Referencias Documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá: 2008. p 2

INVERSIONES JVO SAS. [En línea] [www.http://inversionesjvo.com.co](http://inversionesjvo.com.co)

MICROLAB INDUSTRIAL. Los sólidos en el agua. [En línea]
[http://www.microlabindustrial.com/blog/los-solidos-en-el-agua.](http://www.microlabindustrial.com/blog/los-solidos-en-el-agua)[Citado el 17 de febrero de 2017]

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. República de Colombia. [En línea]

<<http://www.minprotecciónsocial.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=16364&ICompany=3>> [Citado el 10 de Marzo de 2017].

NORATTO, Gustavo Elías, (Estudios y diseño para la optimización de las plantas de agua potable de los municipios de Zipaquirá, Cogua y Nemocón) E.A.A.A.Z-E.S.P. Bogotá. 2003.

PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA DE LA EAAAZ-ESP.2003.Zipa. p. 28-48

RESTREPO OSORNO, Hernán, (Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable). Tesis de Ingeniería Química. Medellín. 2009. p. 9

RODRÍGUEZ QUITIAQUEZ, Ruth Angélica, (Revisión de la normatividad ambiental vigente para el manejo y abastecimiento de agua potable en Viotá, Cundinamarca). Tesis de Especialización en planeación ambiental y manejo integral de recursos naturales. Bogotá D.C. 2015. p.14.

RODRIGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.1995. p 115.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad Del Agua. Tercera edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. ISBN 9789588060

SASTOQUE SUAREZ, Isabel, USATEGUI DIAZ, Lina, Mejoramiento de las etapas de coagulación y floculación en el proceso de tratamiento de agua potable en la planta TIBITOC. Tesis de Ingeniería Química. Bogotá. 2003. p 5.

SEDAPAL. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación.

<http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154> [Citado el 29 de Marzo de 2017]

XXII CONGRESO DE CENTROAMERICA Y PANAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL “SUPERACIÓN SANITARIA Y AMBIENTAL: EL RETO”. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. [En línea] <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>,p.4-5 [Citado el 10 de Abril de 2017].

ANEXOS

ANEXO A
PROMEDIOS HISTÓRICOS

Tabla 26. Promedios históricos para el agua cruda

PARAMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	AÑO 2015											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
pH		6.5 – 9.0	7,19	7,30	7,14	7,16	7,09	7,35	6,78	6,94	7,17	7,28	7,26	7,18
COLOR	UPC	< 15	40	50	60	55	45	20	30	40	30	35	35	40
TURBIEDAD	UNT	< 2	4,54	6,78	6,62	5,84	7,56	4,54	4,66	4,79	4,75	4,63	4,05	3,65
HIERRO	mg/L Fe	0,30	0,38	0,71	0,90	0,51	0,56	0,36	0,31	0,38	0,38	0,55	0,66	0,61
ALCALINIDAD	mg/L	200,00	10	11	11	11	10,5	10,5	10	9	10	9,5	10,5	10
PARAMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	AÑO 2016											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
pH		6.5 – 9.0	7,30	7,42	7,18	7,14	7,33	7,29	7,15	7,36	7,58	7,80	7,19	7,26
COLOR	UPC	< 15	30	50	50	50	50	40	40	30	30	30	30	30
TURBIEDAD	UNT	< 2	5,25	8,16	6,29	6,41	6,84	5,13	4,58	5,61	5,50	5,73	5,65	5,99
HIERRO	mg/L Fe	0,30	0,45	0,55	0,57	0,57	0,65	0,43	0,49	0,45	0,53	0,37	0,38	0,41
ALCALINIDAD	mg/L	200,00	10,5	10,5	10	11,5	11	9,5	9	9	9	8,5	10	9,5
PARAMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	AÑO 2017											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY							
pH		6.5 – 9.0	7,27	7,11	7,23	7,22	7,33							
COLOR	UPC	< 15	30	45	45	40	45							
TURBIEDAD	UNT	< 2	6,43	6,86	6,97	6,84	7,81							
HIERRO	mg/L Fe	0,30	0,27	0,41	0,70	0,58	0,64							
ALCALINIDAD	mg/L	200,00	8,5	9	11	9	13							

Tabla 27. Promedios históricos para el agua potable en la planta Galán

AGUA TRATADA	PARAMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	AÑO 2015											
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
	pH		6.5 – 9.0	7,29	7,27	7,18	7,18	7,10	7,16	6,88	6,96	7,12	7,22	7,11	6,88
	COLOR	UPC	< 15	5	5	5	5	5	5	10	5	10	5	10	5
	TURBIEDAD	UNT	< 2	0,40	0,67	0,79	0,40	0,35	0,29	1,66	0,42	0,39	0,47	0,66	0,83
	HIERRO	mg/L	0,30	0,12	0,22	0,15	0,06	0,07	0,05	0,11	0,09	0,07	0,12	0,15	0,15
	ALCALINIDA	mg/L	200,00	9	10,5	10	9,5	10,5	10,5	10	9,5	9	10	10	9
	PARAMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	AÑO 2016											
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
	pH		6.5 – 9.0	7,12	7,15	7,05	7,11	7,19	7,18	7,16	7,09	7,04	6,87	7,11	7,52
	COLOR	UPC	< 15	10	5	10	5	5	5	5	5	5	10	5	10
	TURBIEDAD	UNT	< 2	0,52	0,49	0,28	0,47	0,42	0,62	0,61	0,50	0,49	0,47	0,67	0,60
	HIERRO	mg/L	0,30	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,09	0,07	0,08	0,13	0,13
	ALCALINIDA	mg/L	200,00	10	10	10	10	10,5	9	9	9	9,5	10	8,5	9
	PARAMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	AÑO 2017											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY								
pH		6.5 – 9.0	6,76	7,13	7,15	7,10	7,11								
COLOR	UPC	< 15	5	10	5	5	5								
TURBIEDAD	UNT	< 2	0,83	0,66	0,61	0,67	0,62								
HIERRO	mg/L	0,30	0,13	0,11	0,13	0,12	0,08								
ALCALINIDA	mg/L	200,00	8	8	11	9	9,5								

ANEXO B

FICHAS DE SEGURIDAD

FICHA TECNICA Y CERTIFICADO DE PREPARACIÓN PAC 03 Por Latinoamericana de Aguas LTDA.

NOMBRE TÉCNICO: POLICLORURO DE ALUMINIO
PRESENTACIÓN: GRANULAR
EMPAQUE: SACOS DE 25 KILOS.
CAS # : 1327-41-9
USO: TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, RESIDUAL E INDUSTRIAL

ESPECIFICACIONES

RELATIVE DENSITY G/CM³ (20°C) ≥ - 0.75 G/CM³
INGREDIENTE ACTIVO:
AL₂O₃ ≥ 30%
Fe₂O₃ ≥ 1%
BASICITY 55.0-90.0%
(1% WATER SOLUTIÓN) 5 %
PH 3.5-5
SO₄²⁻ ≤ 9.8%
AMMONIACAL NITROGEN ≤ 0.09%
AS ≤ 0.0005%
MN ≤ 0.045%
CR⁶⁺ ≤ 0.0015%
HG ≤ 0.00002%
PB ≤ 0.003%
CD ≤ 0.0006%

LOTE DE PRODUCCIÓN DIC DEL 2017
LOTE DE EXPIRACIÓN DIC DEL 2019
APROBADO POR EL MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL.
SEGÚN CONCEPTO TÉCNICO Y TOXOLOGICO # L-1404048-08
RADICADO # 206890
FECHA 16-07-08

Este producto es un coagulante inorgánico macromolecular el cual polimeriza una cantidad propia de PFC e introduce una cantidad apropiada de agente sinérgico (SO₄²⁻), basado en el alto y eficiente agente purificador PAC. Este producto es un compuesto de polímero inorgánico PAFCS Y PACS. Es un químico ideal para tratar aguas severamente solubles tales como aguas de temperatura baja y de baja turbiedad, baja temperatura y alta turbiedad, con alto contenido de hierro y metales pesados.

PROPIEDADES

1. Alta eficiencia: El PACS es un compuesto de polímero alto tipo inorgánico; la estructura molecular es tan larga y la capacidad de absorción es tan fuerte que la eficiencia de

Purificación es mucho mejor que cualquier otro agente tradicional inorgánico de purificación de agua.

2. Rápida reacción: tirándola en un agua no tratada resulta en una rápida precipitación y grandes flocs con buena filtración.

3. Buena conveniencia: Es muy conveniente para toda clase de aguas no tratadas; la influencia en el pH es muy pequeña

4. Nivel de uso bajo.: La corrosividad para facilitar las tuberías es pequeña: Esta operación es fácil, las cantidades extras son bajas y el costo de purificación es menor lo cual puede adaptar un dispositivo de dosificación.

METODOS Y NOTAS DE APLICACIÓN

1. Cuando se usa en forma sólida, se debe agregar de 3 a 4 veces agua primero y mezclar bien hasta hacerlo disolver, después agregue directa y rápidamente o adhiera agua para diluir.

El tiempo de floculación generalmente no excede las 24 horas. Acorde con la porción mezclada, agregue en el agua inicial o de desagüe y déjelas fluir juntas para precipitar.

2. El rango ideal de PH de agua a clarificar es entre 6.0 a 8.0. Más allá de este rango se debe ajustar el valor del pH primero y luego agregar el agente a tratar (PAC), así usted puede tener mejores resultados de y efectos de purificación.

En general, el agua no tratada o de turbiedad diferente puede tratarse de las siguientes maneras:

3. Los productos adoptan un color marrón dentro del empaque neto.
4. El producto puede ser almacenado en un lugar seco y con ventilación apropiada.
5. Cuando se es transportado es importante no olvidar no mezclarlos con otros productos.

THE TURBIDITY OF UNTREATED WATER	ADDING (KG/KT WATER)	PROPORTIÓN
10-50		2-5
50-200		3-6
200-500		4-7
500-1000		6-9
1000		7-12

Uso:

Específicamente es usado como coagulante para clarificar aguas de consumo humano y tratar aguas residuales. Puede utilizarse como floculante en aguas de piscinas. Especial para aguas con alto contenido de Hierro y metales pesados.

Dosificación:

Se recomienda hacer una prueba de campo o de jarras para dosificar la cantidad apropiada. Se dosifica manualmente o mediante bomba dosificadora.

La dosis depende de la turbiedad del agua, sin embargo la cantidad a dosificar es de 3 a 5 veces menos que Sulfato de Aluminio. Generalmente no requiere alcalinizantes como Cal o soda cáustica para corregir el pH.

FICHA TÉCNICA PAC PRO LÍQUIDO



**SULFO
QUIMICA sa**

Policloruro de Aluminio, PAC
Ficha Técnica del Producto



KOSHER PAREVE
3627
No Reg. 290



Icontec
Certificado N° 182-1

Propiedades Químicas (AWWA B408-03)

Fórmula Química	$[Al(OH)_m Cl_{3-m}]_n$
Densidad a 25 °C, g/ml	1.23 ± 0.05
pH a 25 °C	2.5 ± 0.3
% Al ₂ O ₃	10.5 ± 0.5
Relación de Basicidad	70% min.

*Vida útil posterior a su fabricación: 3 meses

Indicaciones

El policloruro de aluminio (PAC) es una sal de alta basicidad con base en anión cloruro. Se diferencia del hidroxocloruro de aluminio (ACH) porque presenta especies polinucleares del metal convirtiéndolo en un coagulante de alto desempeño, con excelentes propiedades para el tratamiento de aguas con dificultades especiales y generando bajo volumen de lodos, pues trabaja bien con poco suministro de alúmina.

Condiciones de Manejo

El producto debe ser almacenado en tanques de fibra de vidrio, polietileno o acero recubierto en caucho y conducido empleando fibra de vidrio, PVC o cualquier otro material termoplástico. También es compatible con EPDM, Caucho Natural y Vitón. El producto no debe estar en contacto con hierro, acero al carbón, acero inoxidable y bronce.

Es deseable que el Policloruro de Aluminio Líquido sea dosificado tal como se recibe del proveedor y no ser contaminados por agua u otra impureza durante el almacenamiento.

Para la dosificación exacta y uniforme, debe ser usada una bomba de desplazamiento positivo. El producto no se deteriora con el tiempo mientras sea manejado bajo las condiciones explicadas. Su vida útil es de 3 meses.

Precauciones y Seguridad

El producto no presenta alto riesgo en su manejo pero, por ser una sal ácida debe tratarse con cuidado. Evite el contacto con metales que puedan sufrir corrosión tales como hierro, cobre, bronce, aluminio y acero inoxidable. Se recomienda el uso de guantes y gafas protectoras.

En los ojos y mucosas causa irritación; en caso de contacto debe enjuagarse con agua abundante.

El producto no emite gases y por lo tanto no causa efectos nocivos al ser inhalado.



FICHA DE SEGURIDAD POLÍMERO ANIÓNICO

Suministrada por PROCOL S.A.

1. ASPECTOS GENERALES.

PROPIEDADES: Polímero tipo poliácridamida que incrementa el drenaje por gravedad y en combinación con polímeros de alto peso molecular logra un efecto sinérgico en la retención. Serie 1000.

CONTENIDO NETO: No aplica.

USOS:

Este producto está especialmente diseñado para las necesidades de la industria de pulpa y papel, puede ser usado no solo en máquinas papeleras para mejorar el proceso productivo, sino que puede ser enfocado hacia el manejo de aguas en los circuitos papeleros.

Se utiliza como floculante o ayudante de coagulación en una amplia variedad de aguas de consumo, municipal e industrial y aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales.

Ha sido aplicado con éxito en todos los sistemas de separación líquido/ sólido incluyendo clarificación, espesamiento, deshidratación y filtración. Puede ser utilizado solo o en combinación con otros coagulantes orgánicos e inorgánicos.

BONDADDES Y/O VENTAJAS DEL PRODUCTO:

- Efectiva y rápida separación líquidos/sólidos.
- Proporciona óptima relación costo-beneficio.
- Mejora el drenaje aumentando los ahorros de energía en la formación de hojas y secado.
- Mejora la uniformidad de la hoja y propiedades del papel.
- Mayor retención de fibras y considerable reducción de cenizas.
- Disminuye la DBO y la DQO en el efluente.
- Es de fácil preparación
- Cuenta con aprobación NSF.
- Mejora el desempeño de aditivos (colorantes, encolantes, resinas de resistencia en húmedo y en seco)

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

(Propiedades físicoquímicas y/o microbiológicas).

PROPIEDADES	VALOR
Apariencia	Polvo blanco granular
Naturaleza iónica	Aniónica
Anionicidad (% w)	40
pH (0.5% Sol).	7 - 9
Densidad relativa kg/m3.	600-900
Peso molecular	Ultra alto

menor o igual a 0,1% (a través de dilución en línea si es necesario).

Debe ser manipulado con los cuidados propios para los productos químicos, utilizando elementos de protección personal como guantes, gafas de seguridad y mascarilla para polvos. No es inflamable, sin embargo en caso de incendio utilice espuma, CO₂ o métodos químicos secos porque la mezcla de polímero- agua es muy adherente.

Por precaución se debe diluir en una proporción alta. No incorporar a suelos ni acuíferos.

Si al contacto con el producto se presenta alguna reacción, lavar con abundante agua la zona afectada como mínimo durante 15 minutos. Consultar al médico.

4. EMPAQUE Y TRANSPORTE.

Este producto es empacado en sacos de 25 kg y puede ser transportado en vehículos de cualquier tonelaje.

Este producto no está clasificado como sustancia química peligrosa, por lo tanto no está regulado para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002.

5. ALMACENAMIENTO.

En planta se sugiere el almacenamiento de este producto en bolsas cerradas. Almacenar en un área fría y seca, que no exceda temperaturas de 35°C. No derrame agua en el producto seco debido a que se produce un gel muy compacto y difícil de limpiar. En caso de derrame de soluciones de este producto utilice material absorbente sobre el área afectada y barra dentro de recipientes de disposición de químicos apropiados.

En condiciones apropiadas de almacenamiento el producto es estable por 24 meses.

6. DATOS DEL FABRICANTE: Este producto es comercializado por productos Químicos Panamericanos S.A. regionales:

Barraquilla: dirección, calle 30 N°21-78 bodega 2. Teléfono: (5) 379 75 22

Calli: dirección, Carrera 40 N° 14-51 Acopi-Yumbo. Teléfono (2) 685 29 28.

Sevillana: dirección, carrera 57 N° 45A-94 sur, Bogotá. Teléfono (1) 710 97 70.

ANEXO C

METODOS ANALÍTICOS

Caracterización Físicoquímica

Durante las visitas a la planta Galán es necesario hacer una caracterización físicoquímica del agua cruda como de las etapas coagulación-floculación para el estudio técnico llevado a cabo en este documento como para la determinación y medición de los parámetros físicoquímicos a tener en cuenta para el ensayo de jarras llevado a cabo a nivel experimental de laboratorio.

Determinación de turbiedad

1. Encender el Turbidímetro.
2. Tomar una muestra en vaso de precipitado y agitar para que el material sedimentado se distribuya en la muestra uniformemente.
3. Tomar 30 ml de muestra del vaso de precipitado y adicionarlos a la celda de medición hasta el aforo.
4. Tomar la celda por la tapa y agitar por inmersión para eliminar las burbujas de aire y después limpiar la celda con paño antiestático.
5. Colocar la celda dentro del compartimiento del turbidímetro.
6. Esperar valor en la pantalla y registrar el resultado en UNT.

Figura 17. Turbidímetro Merck Turbiquant 1500T



Determinación de Color

1. Tomar una muestra de 20 ml de agua en un tubo de ensayo

2. Introducir el tubo de ensayo con la muestra a una unidad de lectura visual comparándola con un tubo que contiene 20 ml de agua destilada blanco o patrón.
3. Al ver que la muestra tenga el mismo color que la del agua destilada se lee a partir de una reglilla donde se determina el valor cuantitativo.
4. Registrar el valor en UPC y desechar la muestra dejando solo el tubo de ensayo con la muestra de agua destilada patrón o blanco.

Figura 18. Unidad (visual) de medición de color.



Determinación de Hierro

1. Encender el Fotómetro.
2. Seleccionar el método 251 que corresponde al análisis de hierro.
3. En un tubo de ensayo adicionar una muestra de 10 ml a analizar.
4. Al tubo adicionar 6 gotas de reactivo indicador para hierro (Reagen Fe^{-1}) y dejar diluir durante 3 minutos (toma color purpura).
5. Leer un blanco de agua destilada y en seguida la muestra con el indicador
6. Leer la lectura del fotómetro en mg de Fe/l.

Figura 19. Fotómetro Merck



Determinación de Alcalinidad

1. Tomar 100 ml de muestra en un Erlenmeyer.
2. Agregar 3 gotas de indicador Tashirol. (toma coloración verde).
3. Con agitación constante titular bajo la bureta con solución de Ácido sulfúrico 0,02 N gota a gota hasta que la solución cambie a color rosado.
4. Registrar el volumen de ácido gastado desde el inicio de la titulación.
5. Calcular la concentración de alcalinidad por medio de la siguiente fórmula.

$$\text{Alcalinidad} \left(\text{mg de } \frac{\text{CaCO}_3}{\text{l}} \right) = \frac{x * N * C}{\text{volumen de muestra}} \text{ Ec. 12}$$

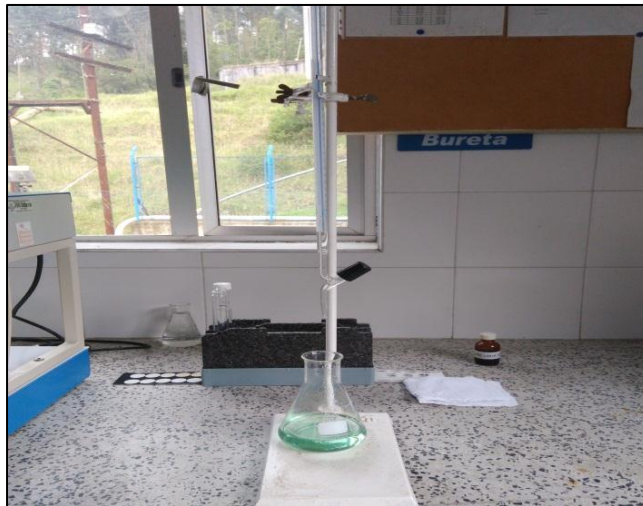
Dónde:

x= (volumen final – volumen inicial de H₂SO₄)

N= concentración del H₂SO₄ en Normalidad.

C= 50 Eq. gramo de CaCO₃ * 1000 ml

Figura 20. Titulación para determinación de Alcalinidad



Determinación de pH

1. Tomar una muestra de 200 ml en un vaso de precipitado.
2. Lavar el electrodo del pHmetro con agua destilada antes de la medición
3. Introducir el electrodo en el vaso de precipitado con la muestra y esperar a que se estabilice.
4. Registrar la lectura del pHmetro
Nota: Lavar el electrodo con agua destilada después de cada medición, al final sumergirlo en una solución con KCl 3 M.

Figura 21. pHmetro



En el análisis fisicoquímico se mide el tamaño de flóculos mediante el índice de floculación de Willcomb para el ensayo de jarras como se observa en la **tabla 9**

Tabla 28. Determinación del índice de Willcomb

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

Fuente: Empresa de Acueducto, Aseo y Alcantarillado de Zipaquirá. Manual de calidad y operación para proceso de potabilización. [Consultado el 23 de marzo de 2017]

ANEXO D

PREPARACIÓN DE REACTIVOS

Durante el desarrollo de la fase experimental llevada a cabo para este trabajo de investigación se utilizara el coagulante policloruro de aluminio PAC PRO líquido como alternativa a evaluar para saber si es viable ser utilizado insumo en el tratamiento de aguas en la planta Galán, donde se prepararan soluciones al 1% de este reactivo; como para el floculante el cual se utilizara el POLIFOC 2111 el cual se preparó a una concentración del 0,01% de la siguiente manera.

Preparación de coagulante

PAC PRO al 1%(10000 ppm)

Esta solución se obtiene tomando 10 ml de la solución patrón al 5%, se lleva a un volumen de 50 ml con agua destilada, se deja reposar durante 5 minutos antes de ser utilizada.

Preparación de floculante

Solución de polímero Aniónico (POLIFLOC 2111) al 0,01 %(1000 ppm)

Se utiliza la gravedad específica del POLIFLOC 2111 para saber el volumen que ocupa 0,05 g de la muestra de polímero, se colocan en un vaso de precipitado de 500 ml, se agita a 300 rpm durante 4 minutos. De esta solución se toman los volúmenes necesarios para el ensayo de jarras.

Volúmenes a utilizar en prueba de jarras.

Coagulante

Para la experimentación con e PAC PRO se adicionan a cada jarra diferentes dosis entre 5 y 50 ppm teniendo en cuenta que vienen de la solución al 1% (10000 ppm) y que el volumen de cada jarra en el equipo de experimentación es de 1000 ml con la siguiente formula,

$$V_2 * C_2 = V_1 * C_1 \quad \text{Ec. 13}$$

Con esta fórmula, se realiza un ejemplo a continuación utilizando la concentración de 30 ppm para una jarra cualquiera y el volumen a adicionar.

$$V_2 = \frac{1000 \text{ ml} * 30 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}} = 3 \text{ ml}$$

Esta fórmula es general y se aplica también para el floculante.

Floculante

Para la experimentación se añaden dosis en aumento del POLIFLOC 2111 de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 y 3 ppm para cada una de las jarras sabiendo que la concentración inicial es de 0,01% (1000 ppm) y el volumen de cada jarra en el equipo de experimentación es de 1000 ml, se ejemplificara con la concentración de 1,5 ppm utilizando la formula general así,

$$V_2 = \frac{1000 \text{ ml} * 1,5 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} = 1,5 \text{ ml}$$

ANEXO E

Dosis óptima para la planta Galán

En las plantas potabilizadoras de agua cruda se utilizan métodos analíticos y cuantitativos para determinar las dosificaciones de los coagulantes y floculantes que rendimiento y mayor número de coloides y material particulado retenga en un precipitado, para estos análisis es necesario el ensayo de jarras como de formulaciones que se han experimentado en función de los datos obtenidos por los ensayos de jarras.

Para la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Zipaquirá es importante tener claro estas formulaciones para las cuales se implementan a nivel de corrida de planta teniendo en cuenta el caudal de diseño en litros /segundo que entra a la planta para obtener certeza de las dosificaciones de los productos químicos que se deben estar llevando a cabo para este caudal. Por lo que la EAAAZ utiliza la ecuación 11 del escrito para obtener una dosis óptima con los mejores resultados en la remoción de turbiedad y color obtenidos por el ensayo de jarras, la ecuación es la siguiente.

$$dosis\ óptima = \frac{Q * C * \left(\frac{svte.}{sto.}\right) * T_{rxn}}{V} = ml/min \quad Ec. 11$$

Dónde:

Q= Caudal de diseño en (L/s).

C= dosificación adecuada en el ensayo de jarras (mg/L).

Svte.= Es la cantidad de solvente en el tanque dosificador, para planta Galán es de 500 litros.

Sto. = Es la cantidad de reactivo o producto químico a disolver en el tanque dosificador (g, kg).

T_{rxn}= Es el tiempo por el cual se hace la medición en planta para corroborar si la dosificación óptima se está llevando a cabo (60 s).

V= Volumen del recipiente donde se llevó a cabo la simulación (ml).

ANEXO F

Cotizaciones para el PAC PRO y el PAC 03

INVERSIONES
JVOSAS

NIT 900422258-9

PROPUESTA ECONÓMICA No. 0217159


QUÍMICOS PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EAAAZ E.S.P.				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	HC JVO 6517	200.000 Kg*	\$ 1.750 / Kg	\$ 350.000.000
SUBTOTAL				\$ 350.000.000
IVA				\$ 66.500.000
TOTAL				\$ 416.500.000

*La cantidad ofertada es suficiente para trabajar durante un año a una carga de 320 lt/sg, teniendo las condiciones de agua entrante a las cuales se realizaron la pruebas y que se detallaron en el informe presentado.

Condiciones de la oferta:

1. Producto puesto en la planta Regional el municipio de Cogüa.
2. Despacho mínimo de 6 (seis) toneladas.
3. En caso de requerirse tanque de almacenamiento adicional a los existentes en su planta para poder contar con la tranquilidad de manejo de inventarios, **INVERSIONES JVO SAS** revisaría la forma de participar de forma parcial en la compra del mismo.
4. La oferta presentada contempla todos los costos necesarios para atender sus necesidades.
5. Pago a treinta (30) días fecha factura.

Cordialmente,


OSWALDO A. SUÁREZ B.
C.C. 79.295.960 de Bogotá
Mail: oswaldosuarez@inversionesjvo.com.co

TRANV. 57 104 B 26, BOGOTÁ TF. +57 1 8000 841 CEL. +57 314 3105856
e-mail: inversionesjvo@inversionesjvo.com.co
www.inversionesjvo.com.co



Latinoamericana de Aguas Ltda.

NIT.830.067.655-3
Régimen Común

SEÑORES:
E.A.A DE ZIPAQUIRA E.S.P.
Dr. Oscar Castillo Barrantes
Gerente
Tel: 5953888

COTIZACIÓN		
128-03-2017		
DIA	MES	AÑO
07	04	2017

CIUDAD	EMAIL	SOLICITADO POR
Zipaquirá /Cundinamarca	osfecaba@hotmail.com	Dr. Oscar Castillo


ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	V/UNI	V/TOTAL
De acuerdo a su amable solicitud, nos permitimos cotizar:				
1	127,5	Tonelada de Policloruro de aluminio solido Bulto X 25 Kgs PAC 03	\$ 3.142.000	\$ 400.605.000
4	30	Tonelada de soda caustica en escamas al 98% PERUANA de pureza en Bulto de 25 kg cada saco	\$ 3.780.000	\$ 113.400.000
.....				
CONDICIONES COMERCIALES:				
Sitio de entrega : Material puesto en sus instalaciones de la planta de Tratamiento				
Tiempo de Entrega: 3 Días confirmación Pedido- entregas Parcial de acuerdo a sus requerimientos			SUBTOTAL	\$ 514.005.000
Forma de Pago: 30 Días fecha de factura			IVA 19%	\$ 97.660.950
			TOTAL	\$ 611.665.950

Cordialmente

Ing. ALBERTO HERNÁNDEZ C.
GERENTE

Elaboro:
GOYOLA VASQUEZ

Calle 176 No. 53-10 Bogotá, D.C. /Telefonos 6692782 6749778
Telefax : 6793009 / Celular 3108523813 3108523621 / Email: latinaguas@yahoo.com


 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Yo JHEYSON FABIAN GUZMÁN RIVAS en calidad de titular de la obra **EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA ETAPA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LA PLANTA GALÁN DE LA EAAAZ**, elaborada en el año 2016, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la *licencia Creative Commons* que se señala a continuación:

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	
Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá a los 18 días del mes de Agosto del año 2017.

EL AUTOR:

Autor:

Nombres	Apellidos
Jheyson Fabian	Guzmán Rivas
Documento de identificación No	Firma
C.C. 1075663205	