

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



PLAN DE TESIS

Influencia del tipo de coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre en curtiembres.

PRESENTADO POR EL BACHILLER

JESSICA VANESSA MEDRANO OBANDO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

TRUJILLO-PERÚ

2017

DEDICATORIA

A mi Dios, el que me ha dado fortaleza para continuar en los buenos y malos momentos de mi vida, dedico mi trabajo a Dios.

A mi mama, por motivarme en el camino del éxito, que con su fortaleza y su amor, sigue siendo mi guía a la largo de mi existencia, con todo cariño entrego el fruto de mi esfuerzo.

A mi hermano, que siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo con su esposa, enseñándome y apoyándome a ser mejor profesionalmente.

A mi Hermana, porque siempre me apoyan en mis decisiones que he venido tomando y sobre todo por cuidarme durante este reto.

A mi papa, porque siempre está con nosotros día a día apoyándonos y me brindarme su cariño y su esfuerzo.

A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi educación profesional.

A todas las personas que han creído en mí, quienes me dieron su apoyo moral hasta alcanzar mi Título como Ingeniera.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme en el camino que emprendí durante mis estudios en la Universidad Alas Peruanas y protegerme para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A la Universidad Alas Peruanas a través de los profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental, quienes contribuyeron con sus enseñanzas y orientaciones al ponerme retos para alcanzar mi meta.

A los Ing. Luis Juárez, Ing. Juan Minbela, Ing. Carlos Purizaca Jacinto Ing. Danny Mejila Pardo por brindarme su apoyo en estos últimos ciclos y su buena disposición en los momentos que necesite de sus orientaciones.

Al Ing. Alois Silva Ugaz por toda la colaboración brindada, durante la elaboración del proyecto.

A mis amigos Hans Carhuancho, Edward Príncipe, Ana Araujo, Pamela Pizan, Alberto Villena, Nelson Lara, Luis Azabache, Enrique Villacorta con quienes compartí vivencias y a la vez me apoyaron durante la carrera.

A una persona especial, que a pesar de muchas dificultades, siempre sonrío dándome fuerza para seguir luchando y llegar a la meta. OBB.

A la Universidad Nacional de Trujillo por brindarme desarrollar mi trabajo de tesis en el laboratorio de Aguas de la Escuela de Ingeniería Ambiental.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLOGICO	10
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	11
1.2 Delimitaciones y definición del problema	17
1.3 Formulación del problema	18
1.4 Objetivo de la investigación	18
1.5 Hipótesis de la Investigación	18
1.6 Variables e Indicadores	19
1.7 Viabilidad de la investigación	19
1.8 Justificación e importancia de la investigación:	20
1.9 Limitaciones de la investigación	20
1.10 Tipo y nivel de la investigación	21
1.11 Método y diseño de la investigación	21
1.12 Cobertura del estudio	22
1.13 Cronograma y Presupuesto	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1 Antecedentes de la investigación	27
2.2 Marco conceptual	29
2.3 Metodología	32
CAPITULO III: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	35
3.1. Caracterización inicial del efluente	36
3.2. Influencia de la concentración del coagulante policloruro de aluminio (PAC) y floculante aniónico en la remoción de la Sólidos Suspendidos.	38
3.3. Influencia de la concentración del coagulante policloruro de aluminio (PAC) y floculante aniónico en la remoción de la Color.	39
3.4. Influencia de la concentración del coagulante policloruro de aluminio (PAC) y floculante aniónico en la remoción de la Turbidez.	41
3.5. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y floculante aniónico en la remoción de la Sólidos suspendidos.	42
3.6. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y floculante aniónico en la remoción de la Color	44

3.7. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y floculante aniónico en la remoción de la Turbidez.	45
3.8. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato ferroso (FeSO_4) y floculante aniónico en la remoción de la Turbidez	47
3.9. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato ferroso (FeSO_4) y floculante aniónico en la remoción de Color.	48
3.10. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato ferroso (FeSO_4) y floculante aniónico en la remoción de la Sólidos Suspendidos	49
3.11. Comparación del porcentaje de remoción de turbidez, color y sólidos suspendidos trabajados con los tres tipos de coagulantes PAC, sulfato de aluminio y Sulfato ferroso	51
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
FUENTES DE INFORMACIÓN	57
ANEXOS:	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 01	Consumo de agua en el proceso de curtición.	13
Tabla 02	Niveles de contaminación por etapas.	14
Tabla 03	Valores máximos admisibles de efluentes líquidos.	15
Tabla 04	Diseño da la investigación	22
Tabla 05	Métodos Analíticos y equipos utilizados en la investigación.	33
Tabla 06	Caracterización del efluente de Pelambre y su comparación con los VMA.	37
Tabla 07	Resultados de los tratamientos realizados con Policloruro de aluminio PAC.	62
Tabla 08	Resultados de los tratamientos realizados con Sulfato de aluminio.	62
Tabla 09	Resultados de los tratamientos realizados con Sulfato Ferroso.	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 01	Diagrama esquemático mostrando la interacción de especies de aluminio con partículas inicialmente cargados negativamente en el agua.	31
Figura 02	Influencia de la concentración de PAC en la remoción de Solidos Suspendidos.	38
Figura 03	Influencia de la concentración de Floculante aniónico en la remoción de Solidos Suspendidos.	38
Figura 04	Influencia de la concentración del coagulante PAC en la remoción de Color.	39
Figura 05	Influencia de la concentración de Floculante aniónico en la remoción de Color.	40
Figura 06	Influencia de la concentración del coagulante PAC en la remoción de Turbidez.	41
Figura 07	Influencia de la concentración de Floculante aniónico en la remoción de Turbidez.	41
Figura 08	Influencia de la concentración de Coagulante $Al_2(SO_4)_3$, en la remoción de Solidos Suspendidos.	43
Figura 09	Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de Solidos Suspendidos.	43
Figura 10	Influencia de la concentración de Coagulante $Al_2(SO_4)_3$, en la remoción de Color.	44
Figura 11	Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de Color.	44
Figura 12	Influencia de la concentración de Coagulante $Al_2(SO_4)_3$, en la remoción de turbidez.	45
Figura 13	Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de turbidez.	46
Figura 14	Influencia de la concentración de Coagulante $FeSO_4$, en la remoción de Solidos Suspendidos.	47
Figura 15	Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de Solidos Suspendidos.	48
Figura 16	Influencia de la concentración de Coagulante $FeSO_4$, en la remoción de Color.	49
Figura 17	Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de Color.	49
Figura 18	Influencia de la concentración de Coagulante $FeSO_4$, en la remoción de turbidez.	50
Figura 19	Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de turbidez.	51
Figura 20	Comparación del porcentaje de remoción de Turbidez trabajados con PAC, sulfato de aluminio y sulfato ferroso; floculados con 30 ppm de floculante aniónico.	52
Figura 21	Comparación del porcentaje de remoción de Color, trabajados con PAC, sulfato de aluminio y sulfato ferroso; floculados con 30 ppm de floculante aniónico	52

Figura 22 Comparación del porcentaje de remoción de S. suspendidos 53
trabajados con PAC, sulfato de aluminio y sulfato ferroso;
floculados con 30 ppm de floculante aniónico.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en evaluar el porcentaje de remoción de Sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre, proveniente de la etapa de Ribera de la industria de curtición, mediante coagulación – floculación; utilizando tres tipos de coagulantes Policloruro de aluminio PAC, sulfato de aluminio y sulfato ferroso; ensayos realizados a tres concentraciones de coagulantes y floculantes baja, media y alta; dosificaciones 500, 1 750 y 3 000 ppm para los coagulantes y 10, 30 y 60 ppm para el floculante; ensayos realizados en el equipo de jarras a las siguientes condiciones: 120 rpm de agitación por un tiempo de 4 minutos para la coagulación y 40 rpm por 4 minutos de floculación.

Determinándose que el tipo de coagulante influye en el proceso de coagulación de los efluentes de Pelambre de la industria de curtición, siendo los coagulantes a base de aluminio los que muestran los mejores resultados en remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez.

La concentración de coagulante y floculante influye en el proceso de coagulación y floculación respectivamente, concluyendo que el sulfato de aluminio como coagulante y a dosis altas (3 000 ppm) presenta la mejor remoción de turbidez y color, llegando a remover 99,9 % y 99,7 % respectivamente; el policloruro de aluminio PAC, a dosificaciones medias de 1 750 ppm, remueve el 94,3 %. Siendo el sulfato ferroso el que presenta los menores porcentajes de remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez.

Palabras clave: Curtiembre, pelambre, coagulante, sólidos suspendidos turbidez, color, floculante.

ABSTRACT

The present research work consisted in evaluating the percentage of suspended solids, color and turbidity of effluent from the Ribera stage of the tanning industry, through coagulation - flocculation; Using three types of coagulants Aluminum polychloride PAC, aluminum sulfate and ferrous sulfate; Tests performed at three concentrations of coagulants and low, medium and high flocculants; Dosages 500, 1 750 and 3 000 ppm for coagulants and 10, 30 and 60 ppm for the flocculant; Tests performed on a set of jars at the following conditions: 120 rpm stirring for a time of 4 minutes for coagulation and 40 rpm for 4 minutes of flocculation. It was determined that the type of coagulant influences the coagulation process of Ribera effluents from the tanning industry, with aluminum-based coagulants showing the best results in removal of suspended solids, color and turbidity .

The concentration of coagulant and flocculant influences the coagulation and flocculation process respectively, concluding that aluminum sulphate as a coagulant and at high doses (3 000 ppm) presents the best removal of turbidity and color, reaching 99,9 % and 99,7 % respectively; The aluminum polychloride PAC, at average doses of 1 750 ppm, removes 94,3 %. The ferrous sulfate is the one with the lowest percentages of removal of suspended solids, color and turbidity.

Key words: tanning, hair, coagulant, flocculant, suspended solids, color, turbidity.

INTRODUCCIÓN

La contaminación inducida en las fuentes superficiales proviene de diferentes orígenes de tipo antrópico.

Entre las principales industrias contaminantes del agua tenemos a la minera y el petróleo; sin embargo, los impactos ambientales generados por la industria del curtido son tan considerables como las dos anteriores.

La industria del cuero, es una de las industrias más antiguas del mundo conocida como un alto consumidor de agua, principalmente en el proceso de rivera lo que genera aguas residuales con elevadas cantidades de carga orgánica (demanda química y biológica de oxígeno), materia inorgánica, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, nitrógeno orgánico, contaminantes específicos (sulfuro, cromo, entre otros residuos) originando una creciente preocupación medioambiental en cuanto a su liberación.

La industria de cuero contempla un proceso que inicia con el sacrificio y faenado del ganado, ya sea vacuno como ovino, obteniendo la piel, la cual es sometida a un proceso de curtición y terminado, de esta forma es entregada para la fabricación de productos de diversa índole de cuero terminado como cinturones, pulsos para relojes, calzado, vestido, maletas, maletines, revestimiento de muebles, tapicería interna de vehículos, sillas de montar y una gran variedad de productos de consumo.

Es así que varias técnicas han sido estudiadas para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales de curtiembre, entre las cuales la coagulación-floculación es una de las técnicas físico-químicas más empleadas debido a su rentabilidad y eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos, sólidos disueltos y materia orgánica.

Entre los coagulantes más ampliamente utilizados para la desestabilización de las partículas coloidales se encuentran las sales metálicas como el Sulfato de Aluminio y el Policloruro de Aluminio; asimismo para favorecer la formación de aglomerados de mayor tamaño que aumenten la densidad de los flóculos y, por lo tanto, mejore la sedimentación es que se adiciona un grupo de productos denominados floculantes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

El creciente interés y preocupación de las sociedades por el cuidado del medio ambiente determina que las organizaciones, cualquiera que sea su naturaleza, deban velar por que sus actividades se realicen en armonía con el medio ambiente.

El sector curtiembres no es ajeno a esta realidad, debido al vínculo de sus actividades con el ambiente.

La industria del cuero, es una de las industrias más antiguas del mundo conocida como un alto consumidor de agua, principalmente en el proceso de ribera lo que genera aguas residuales con elevadas cantidades de carga orgánica (demanda química y biológica de oxígeno), materia inorgánica, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, nitrógeno orgánico, contaminantes específicos (sulfuro, cromo, entre otros residuos) originando una creciente preocupación medioambiental en cuanto a su liberación. [1]

Ello constituye un problema desde el punto de vista ambiental y para la sobrevivencia de las empresas que no cumplen con las exigencias de descarga de sus efluentes líquidos.

El curtido es el proceso químico mediante el cual se convierten las pieles crudas de ovino o vacuno en cuero terminado.

La mayoría de los procesos de curtiembre se realiza en medio acuoso, y se estima que se utiliza entre 50 y 100 L de agua por kg de piel salada.

Generalmente son tres los procesos para la obtención de cuero descritos a continuación; aunque cada uno de estos conlleva varios subprocesos. [2]

A. Proceso de Ribera

El cuero es preparado para ser curtido, se realiza en las etapas.

- **Etapa de Remojo:** en la cual la piel se acondiciona para la etapa de pelambre (eliminación de pelo), eliminando la grasa, restos de carnes, sangre, sales, tierras, arenas y desinfectado, además de acondicionarlo con un correcto grado de humedad. El efluente generado en esta etapa se caracteriza por presentar elevados valores de sólidos suspendidos, materia orgánica, un pH de 8.5 y altos contenidos de sales disueltas (Sal utilizada para conservar las pieles).
- **Etapa de Pelambre:** En esta etapa se emplea sulfuro de sodio y cal para eliminar la epidermis de la piel además del pelo que la recubre, preparándola para la etapa de curtición. El efluente de pelambre se caracteriza por contener niveles elevados de sólidos suspendidos (producto de la degradación del pelo), materia orgánica, además de ser muy básico pH 12.5 y un nivel de sulfuro elevado.

B. Proceso de curtido

Una vez preparadas las pieles (sin grasa, limpias y sin pelo) se llevan al proceso de curtición, que tiene como fin la estabilización del colágeno; este proceso se realiza con sales de cromo III y recibe el nombre de curtido mineral, así de igual forma se puede realizar con taninos y el proceso se llama curtido vegetal. En nuestro país y en nuestra localidad predomina la curtición con sales de cromo, el cual es el más contaminante debido a los elevados niveles de cromo que emiten en sus efluentes.

C. Proceso de Acabado

Una vez la piel estabilizada, se lleva a terminado según los artículos que se desee obtener; para el teñido se usan anilinas o colorantes vegetales y se deja secar para retirar el exceso de humedad, luego es estirado y por último se agregan capas de producto químicos para darle el acabado final, según requiera el producto final. Los efluentes emitidos en esta etapa contienen

altos niveles de colorantes, muchos de ellos muy difíciles de degradar, elevándose de esta manera la demanda química de oxígeno DQO.

De esta manera la industria del curtido es una de las más criticadas por su grave daño medioambiental, y no es para menos pues la mayoría de los procesos de curtiembre se realiza en medio acuoso y se estima que se utiliza entre 50 y 100 L de agua por kg de piel salada, en Trujillo, las pequeñas empresas de este rubro procesan aproximadamente entre 400 000 a 900 000 kg de piel al año. [3]

Tabla 01. Consumo de agua en el proceso de curtición.

CONSUMO DE AGUA POR ETAPAS		
Remojo y lavados	15 – 20 %	
Pelambre y lavados	35 – 40 %	
TOTAL DE RIBERA		50 – 60 %
Curtido	15 – 20 %	
Recurtido	15 – 20 %	
TOTAL DE CURTIDO Y RECURTIDO		30 – 40 %
Acabados	10 %	
TOTAL DE ACABADO		10%
TOTAL DE PROCESO		100 %

Como se puede observar en la tabla 01, la etapa que más agua consume es la de Ribera consumiendo hasta un 60 % del agua total necesaria en el proceso de curtición; además de ser la etapa que genera los efluentes con mayor grado de suciedad (sólidos suspendidos). La etapa del pelambre es la más crítica en esta industria, generando efluentes con altas cargas de sulfuro y sólidos suspendidos DBO, DQO entre otros, tal como se muestra en la tabla 02.

Como consecuencia, las composiciones de las aguas residuales finales de esta industria contienen metales pesados (como el cromo), sales inorgánicas, sulfuros, anilinas, aceites, altos contenidos de materia en suspensión,

proteínas, componentes oxidables, productos químicos y sustancias tóxicas, además del color oscuro y el olor desagradable. [4]

Tabla 02: Niveles de contaminación por etapas.

Parámetros de la polución	Efluente total	Remojo	Pelambre	Desencalado	Curtido	Restantes
DBO₅, (Kg/t) %	75 – 90 100%	7 – 9 10%	52 – 63 70 %	2,5 3,8%	1 1,2%	12,5 – 15,5 15%
DQO (Kg/t) %	200 – 220 100%	30 – 33 15%	110 – 120 56%	7 3%	2 1%	51 – 58 23%
Sólidos Suspendidos (Kg/t) %	140 100%	7 5%	77 64%			56 40%
Toxicidad (Kg/t) %	2.5 100%		1,9 76%		0,6 24 %	

Nota: La toxicidad fue medida a través del test de Daphnias.

Esto hace que los efluentes de la industria curtiembre sean difíciles de tratar y, por lo general, arrastran un volumen considerable de lodos, generando daños a los sistemas de alcantarillado público, contaminación del agua y suelo; además, que sus efluentes presentan características tóxicas y cancerígenas para la vida humana haciendo que esta industria se encuentre entre las más contaminantes del Perú.

Por todo ello, es necesario y obligatorio adecuar los efluentes de las curtiembres para que cumplan la legislación ambiental vigente utilizando tratamientos físicos, químicos y biológicos de modo que se pueda tener una

industria representativa de la región por la calidad de cueros que produce y no por la excesiva contaminación que genera. [5]

1.1.1 A Nivel Mundial

La industria de curtiembre es una actividad que data de hace cientos de años, donde el proceso se ha ido refinando con el tiempo. Las estadísticas hasta el año 2010 indican que los principales países productores de cuero fueron China, Italia e India, produciendo un total anual de 613,07, 199,45 y 161,52 millones de metros cuadrados de cuero respectivamente. Asimismo, Brasil y Argentina lograron ubicarse entre los 10 países con mayor producción.

La producción mundial se centra mayoritariamente en cueros de bovinos (65% de la producción mundial) y, como minorías, los cueros de oveja, cabra y cerdo (15, 9 y 11% respectivamente). [6]

1.1.2 A Nivel Nacional

La industria del cuero en Perú se encuentra en estado muy sensible debido a la presencia de fuerzas internas y externas. El Ministerio de Vivienda exige cumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) de los efluentes líquidos, el Ministerio de Producción regula los Límites Máximos Permisibles (LMP) y el OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) desde el año 2013 viene asumiendo progresivamente las competencias de fiscalización en el sector industria (en los rubros de cerveza, papel, cemento y curtiembre) para lograr que se cumpla con la legislación en materia ambiental. Los principales VMA dados por el Ministerio de vivienda se detallan en la tabla 3.

Tabla 03: Valores máximos admisibles de efluentes líquidos.

Parámetro	Valores máximos admisibles, VMA
DQO, mg/L	1000
DBO, mg/L	500
Sulfuros, mg/L	5
Cromo total, mg/L	10

Muchas curtiembres formales han cerrado. Frecuentemente, los operadores y empleados de una curtiembre formal que cierra han reaparecido como curtiembres informales. Algunas curtiembres formales inclusive alquilan sus servicios a curtidores informales como un medio para generar ingreso. Una porción significativa de la economía peruana es informal. Algunas fuentes han estimado que las curtiembres formales producen hasta el 50 % del cuero que se curte en el país. Las curtiembres informales están sub-capitalizadas. Gozan de una ventaja competitiva significativa con relación a los curtidores formales quienes trabajan para intentar cumplir con las leyes y regulaciones. Las empresas dedicadas a la industria curtiembres en Perú, tanto formales como informales, operan principalmente en las ciudades de Trujillo, Arequipa y Lima. [7]

El Reporte Técnico para la Industria de Curtiembres en el Perú (MITINCI, abril 1999) indicó que aproximadamente solo el 50 % del cuero producido a nivel nacional proviene de empresas formales. Por la gran falta de documentación causada tanto por las empresas formales como las informales, es muy difícil estimar la producción anual nacional. Al menos se sabe que el sector curtiembre ha registrado crecimientos en su producción, ejemplificado por un crecimiento de 12,4 % en el primer trimestre del 2011.

1.1.3 A Nivel Local

En la Región de la Libertad el panorama de la actividad de curtido de pieles y su transformación en cuero es similar a la realidad nacional, sin embargo, esta industria representa para la región una de las actividades emprendedoras y emblemáticas del país llegando a posicionar a Trujillo como la capital del cuero y calzado peruano.

Actualmente en nuestra provincia operan alrededor de 85 curtiembres entre formales e informales, geográficamente 20 curtiembres formales están ubicadas en el Parque Industrial de la Esperanza y el resto en las zonas urbanas de los diversos distritos las cuales deberán ser reubicadas en zonas industriales en el largo plazo (parques Tecno Ecológicos-Ley N°30078).

La ciudad de Trujillo cuenta con un parque industrial donde se agrupan empresas, entre ellas las del sector curtiembre. La cual es una ventaja pues permitiría a las empresas unir esfuerzos en el tratamiento de efluentes, pero hasta el día de hoy no se cuenta con una planta de tratamiento para efluentes industriales, emitiendo sus efluentes al alcantarillado de efluentes domésticos.

El Reporte Técnico del MITINCI recomendó que estos parques instalen plantas de tratamiento de aguas residuales comunes y plantas de efluentes industriales.

Por otro lado, el crecimiento de la población ha expandido las ciudades. Las curtiembres formales, que alguna vez estuvieron lejos de las zonas residenciales, ahora se encuentran rodeadas de casas. Los residentes están indignados por los efluentes generados y los desechos sólidos que generan las curtiembres vecinas y los malos olores. Muchos curtidores informales operan dentro de sus propias casas, como es en los distritos de Florencia de Mora y el porvenir, rodeados de sus vecinos que sufren las consecuencias.
[8]

1.2 Delimitaciones y Definición del Problema

1.2.1 Delimitaciones

a) Delimitación Espacial.

El proyecto de investigación se desarrollará en el Laboratorio de Investigación en Aguas de la Universidad Nacional de Trujillo, con los efluentes provenientes de la etapa de pelambre en la Curtiembre León de Judá, ubicada en el Porvenir de la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad – Perú.

b) Delimitación Temporal.

El presente proyecto tendrá una duración de cuatro meses; desde la preparación del proyecto en el mes de febrero del 2017, hasta la conclusión del informe en mayo del 2017.

c) Delimitación Social.

La ejecución del actual proyecto involucra directamente al personal que labora en la empresa Curtiembre León de Judá, personas que habitan cerca a la Empresa.

d) Delimitación Conceptual

El presente trabajo de investigación abarca aspectos conceptuales que le competen a la normativa ambiental peruana y a instituciones como el MINAM y a la conceptualización de tratamiento de efluentes por Coagulación floculación.

1.2.2 Definición del Problema

De acuerdo a la realidad problemática se ha creído conveniente realizar un estudio sobre la influencia del tipo de coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos en los efluentes de pelambre en la Curtiembre León de Judá.

1.3 Formulación del Problema.

1.3.1 Problema principal.

¿De qué manera influye el tipo coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre de la curtiembre?

1.4 Objetivo de la Investigación

Determinar la influencia del tipo de coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre de la curtiembre.

1.5 Hipótesis de la investigación.

La remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez de los efluentes de pelambre de curtiembre aumenta al aumentar la dosis de coagulante y floculante.

1.6 Variables e Indicadores

Variable	Indicador	Unidad de medida
(Independiente)		
- Tipo de Coagulante	- Policloruro de aluminio, Sulfato de aluminio y Sulfato ferroso.	
- Dosis de coagulante.		
- Dosis de Floculante.	- Concentración de coagulante y floculante.	- mg/L, ppm.
(Dependientes)		
- Sólidos suspendidos		
- Color	- Remoción de SS, color y turbidez.	- Porcentaje
- Turbidez		

1.7 Viabilidad de la investigación.

1.7.1 Viabilidad técnica

La presente investigación se basa en el uso equipos medición de laboratorio, para ello se cuenta con metodologías estandarizadas que permitan hacer lecturas confiables.

1.7.2 Viabilidad operativa.

Para la ejecución del presente trabajo se cuenta con la disponibilidad de tiempo y acceso a las fuentes de información necesarias para el desarrollo del proyecto.

1.7.3 Viabilidad económica.

En la parte económica para la ejecución del presente proyecto se contará con el presupuesto necesario financiado por el autor.

1.8 Justificación e Importancia de la Investigación.

1.8.1 Justificación

El presente proyecto constituye un trabajo en el área de investigación aplicada, el cual propone establecer condiciones de operaciones en el tratamiento de efluentes de pelambre utilizando coagulantes a base de aluminio y floculante aniónico a nivel laboratorio para la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez; de tal forma que este conocimiento pueda ser aplicado en un tratamiento alternativo en los efluentes de la industria del curtido, la cual excede los VMA (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA).

1.8.2 Importancia.

Las aguas residuales del proceso de curtición de cueros con mayor porcentaje en sólidos suspendidos son los de pelambre; a condiciones óptimas el proceso de coagulación floculación remueve eficientemente y a bajo costo sólidos suspendidos de efluentes industriales.

La importancia del presente proyecto radica en que se evaluará el tipo de coagulante y la dosis de coagulantes y floculantes en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez de los efluentes de pelambre, de tal forma que nos permita encontrar el tipo y dosificación de coagulantes y floculantes óptimas.

1.9 Limitaciones de la Investigación

La uniformidad en el nivel de sólidos suspendidos, color y turbidez de las muestras de efluente de Pelambre, el cual varía de un día a otro, dependiendo del grado de suciedad y conservación de las pieles a procesar.

1.10 Tipo y Nivel de la Investigación

1.10.1 Tipo de investigación.

Por su finalidad es aplicada, por su interés en aplicación de los conocimientos obtenidos. (Sampieri, Fernández, Baptista, 2010).

1.10.2 Diseño de Investigación.

Según el tipo de diseño de investigación es No Experimental, debido a que el estudio se realiza mediante la observación, registro y análisis de las variables que intervienen.

1.10.3 Nivel de investigación.

De acuerdo al grado de profundidad de la presente investigación es Correlacional, debido que se pretende determinar el grado de relación que pueden tener las variables.

1.11 Método y Diseño de la investigación

1.11.1 Método de la investigación.

1.11.2 Diseño de la investigación.

El diseño empleado en la presente investigación es del tipo experimental puro, debido a que las variables independientes se

manipularan intencionalmente, además se medirá el efecto en la variable dependiente. Se utilizó la metodología de superficies de respuesta, para lo cual tendremos 3 niveles para cada una de las 3 variables, dando un total de 27 ensayos, los cuales se detallan en la tabla 05.

Tabla 04: Diseño de la investigación

EXPERIMENTO	Tipo de Coagulante	Dosis de Coagulante	Dosis de Floculante
1	PAC	3 000	60
2	PAC	3 000	30
3	PAC	3 000	10
4	PAC	1 750	60
5	PAC	1 750	30
6	PAC	1 750	10
7	PAC	500	60
8	PAC	500	30
9	PAC	500	10
10	Al ₂ (SO ₄) ₃	3 000	60
11	Al ₂ (SO ₄) ₃	3 000	30
12	Al ₂ (SO ₄) ₃	3 000	10
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1 750	60
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1 750	30
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	1 750	10
16	Al ₂ (SO ₄) ₃	500	60
17	Al ₂ (SO ₄) ₃	500	30
18	Al ₂ (SO ₄) ₃	500	10
19	FeSO ₄	3 000	60
20	FeSO ₄	3 000	30
21	FeSO ₄	3 000	10
22	FeSO ₄	1 750	60
23	FeSO ₄	1 750	30
24	FeSO ₄	1 750	10
25	FeSO ₄	500	60
26	FeSO ₄	500	30
27	FeSO ₄	500	10

1.12 Cobertura de Estudio

1.12.1 Población y Muestra

La población está constituida por los efluentes generados en el proceso de curtición de pieles de la Curtiembre León de Judá. La muestra la constituye los efluentes de la etapa de pelambre de cuero de vacuno.

1.13 Cronograma y Presupuesto:

1.13.1 Cronograma.

Año 2017				
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Elaboración del proyecto	X	X		
Revisión de la literatura		X	X	X
Aprobación del proyecto		X		
Compra de materiales		X	X	
Trabajo de Campo		X	X	
Obtención de datos		X	X	
Análisis de datos		X	X	
Obtención de resultados			X	
Redacción del informe de investigación			X	
Presentación del informe de investigación			X	X
Revisión del informe de investigación				X
Aprobación del informe de investigación				X
Sustentación del informe de investigación				X

1.13.2 Presupuesto.

Bienes de Consumo

PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
2.3.15.12	Papelería en general, útiles y material de oficina			
	Papel Bond A4	2 millares	14.3	28.6
	Cuaderno 92 hojas	2 unid.	4.8	9.7
	Lapiceros(Rojo, Azul y negro)	6 unid.	1.8	10.8
2.3.199.12	Productos Químicos			
	Hidróxido de sodio Q.P	0.1 Kg.	200	20
	Ácido Sulfúrico Q.P	0.2 L	400	80
	PAC	0.2Kg.	100	20
	Sulfato de aluminio	0.3 Kg.	50	15
	Sulfato de ferroso	0.4 Kg.	60	24
	Agua Destilada P.A.	5 L	1.5	7.5
2.3.18.21	Materiales de laboratorio			
	Papel Filtro	1 caja	40	40
SUBTOTAL				255.6

Bienes de Inversión

PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
2.3.18.21	Materiales, Insumos De Laboratorio			
	Balanza Analítica. Cap. Max 200g. Aprox. 0.1 mg	1 unid.	5000	5000

	Espectrofotómetro Visible Nanocolor 500D	1 unid.	12000	12000
	Termómetro (0 a 100°C)	1 unid.	50	50
	Matraz Erlenmeyer 250 mL	5 unid.	30	150
	Balón de 250 mL	3 unid.	40	120
	Probeta 50 mL	2 unid.	25	50
	Pipeta de 10 mL	2 unid.	15	30
	Fiola de 25 mL	2 unid.	30	60
	Vaso de precipitación 100 mL	6 unid.	20	120
	Vaso de precipitación 250 mL	4 unid.	30	120
	Embudo de decantación 250 mL	2 unid.	50	100
SUBTOTAL				17800

Servicios

PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
2.3.18.21	Servicio de Internet	6 meses	40	240
	Servicio de Impresiones, encuadernación y empastado			
	Impresión	1000 hojas	0.1	100
	Empastado	05 unid.	25	125
SUBTOTAL				465

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Rodriguez, CAROL. (2015) **Influencia del pH, concentración de coagulante a base de aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres**, tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Nacional de Trujillo, 2015. Su problema fue: ¿En qué medida influye la variación del pH, concentración de coagulante a base de Aluminio y floculante en la remoción de Sulfuros, Sólidos Suspendidos, Demanda Química y Biológica de Oxígeno de efluentes de Rivera en Curtiembres, para la adecuación de sus valores?, el objetivo General fue: Evaluar la influencia del pH, concentración de coagulante a base de Aluminio y floculante en la remoción de Sulfuros, Sólidos Suspendidos, Demanda Química y Biológica de Oxígeno de efluentes de Rivera en Curtiembres para la adecuación de sus valores. La Conclusión principal fue: El pH la concentración de coagulante si influyen en la remoción de sulfuros, Sólidos suspendidos , DQO y DBO; obteniéndose los mejores resultados para el efluente de remojo a una dosis de 1200 mg/L de PAC en combinación con Floculante Catiónico a pH 7.5, removiendo 78% de remoción de SS, 37% de remoción de SO_4^{2-} , 71% de remoción de DQO, 69% de remoción de DBO y el costo para tratamiento de un metro cúbico de agua residual s de S/ 9.63. Para el agua de Pelambre, los mejores resultados fueron obtenidos a 600 mg/L de PAC en combinación con FC a pH 9, resultando un 80% de remoción de SS, 80% remoción de S^{2-} .

Edyveanc, G. **Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation**, investigación publicada Volume 164, Issue 3, 15 de Abril del 2004, Pages 249–259, en la revista Desalination. El objetivo principal fue desarrollar un sistema de tratamiento que pueda reducir efectivamente la concentración de contaminantes en aguas residuales finales de tenería a niveles ambientalmente aceptables. Su conclusión principal es el cloruro férrico produce mejores resultados que el sulfato de aluminio en términos de DQO, la eficiencia de la coagulación de aguas residuales de curtiembres es altamente dependiente del control de pH loses mejor resultados se obtuvieron a pH 7.5 y Dosificaciones muy altas de coagulantes no aumentaron significativamente la eliminación de contaminantes (Sólidos suspendidos, DBO), siendo económicamente inviable.

Cerón, Pamela. (2011) **Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre**, tesis de grado para optar el título de Ingeniería Ambiental en la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

El objetivo principal del proyecto es desarrollar un sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales cuya aplicación sea factible para una empresa curtidora, consiguiendo de este modo disminuir los riesgos ambientales y a la salud humana. La conclusión principal para el efluentes de remojo el proceso de coagulación/floculación no es muy eficiente, los mejores resultados se obtuvieron a una dosis de 200 mg l-1 de coagulante (FeCl_3) a un pH de 7.5 removiendo 89 % sólidos en suspensión y un 59 % remoción de DQO. A pesar de que existe remoción, el efluente no cumple con la normativa vigente para ninguno de los parámetros indicados.

Fuquene, D. (2011) **Optimización del uso del agua en la etapa de pelambre en un proceso que permita la mejor calidad del cuero final y el menor impacto ambiental**, tesis para obtener el grado de Magister en Ingeniería Ambiental, en la Universidad Nacional de Colombia. La conclusión

principal obtenida es El reciclaje de las aguas tratadas (mediante el tratamiento propuesto) de pelambre mixto muestra que a medida que se va recirculando el agua la calidad de la piel apelmbrada se mejora, lo que es causado por una remanencia de los productos químicos que no se remueven con el sistema de tratamiento propuesto, como los sulfuros, el nitrógeno y el amoniaco, ya que estos compuestos son base para la elaboración de agentes depilantes. Sin embargo es importante recalcar que los resultados del tratamiento de las aguas recirculadas mediante el tratamiento propuesto se ven afectados negativamente en la medida que se recircula el agua, situación inversa a la calidad de la piel apelmbrada, esto se debe a la misma remanencia de los contaminantes presentes en el agua, que exigen dosificaciones variadas de coagulantes y floculantes para tratar el agua. El proceso de coagulante floculación resulto eficiente para los efluentes de pelambre a unas condiciones de operación de mezcla rápida (120 rpm) durante tres minutos y el polímero con una mezcla lenta (60 rpm) durante dos minutos, luego reduciendo la velocidad de mezclado a 20 rpm por 10 minutos, obteniéndose los mejores resultados a pH 8, con hidróxido de aluminio como coagulante y floculante catiónico reduciendo la turbidez inicial de más 1000 NTU a 42 NTU después del tratamiento.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Variable de Estudio: La remoción de los parámetros sólidos suspendidos, color y turbidez.

COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La coagulación-floculación es una de las tecnologías más ampliamente utilizadas a escala industrial para el tratamiento de aguas residuales [8, 21]. Las operaciones de coagulación-floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. El coagulante anula las fuerzas de repulsión entre las partículas coloidales, iniciando la formación de microflóculos,

mientras el floculante engloba estos microflóculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimentan más fácil y rápidamente.

COAGULACIÓN: proceso de desestabilización de partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico (coagulante) seguido por una agitación intensa comúnmente definida como mezclado rápido, que, neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN.

A. Concentración de los coloides: Tiene un gran impacto tanto en la dosis requerida como en la eficiencia de la coagulación misma. La dosis de los coagulantes requeridos para la desestabilización de una dispersión coloidal esta estequiométricamente relacionada con la cantidad de partículas coloidales presentes en solución.

B. Dosis del coagulante: Se puede explicar mediante el uso del concepto de "zona de coagulación" (Ver Figura N° 1), comenzando con la primera zona de baja dosis e incrementándose progresivamente hasta la dosis más alta aplicada a la zona cuatro.

Zona I: No hay suficiente coagulante presente para la desestabilización de los coloides.

Zona II: Suficiente coagulante se ha añadido, con lo que los iones disueltos cargados positivamente se adsorben sobre las partículas coloidales permitiéndose así la desestabilización (a través de la disminución de la carga superficial negativa de las partículas coloidales).

Zona III: La excesiva concentración de coagulante puede causar la inversión de la carga y la re-estabilización de las partículas.

Zona IV: En medio neutro o básico, la alta concentración de coagulante causa sobresaturación con precipitados de hidróxido metálico que atrapan las partículas coloidales y produce una muy efectiva coagulación de barrido.

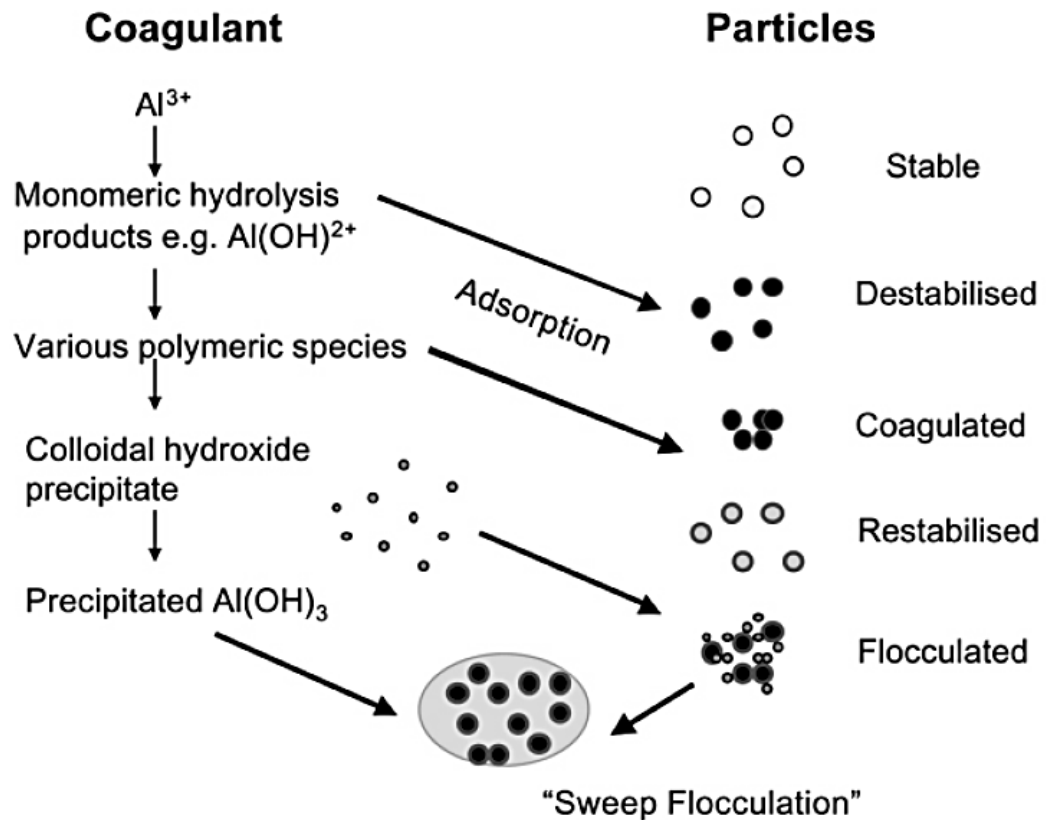


Figura N° 1: Diagrama esquemático mostrando la interacción de especies de aluminio con partículas inicialmente cargadas negativamente en el agua

C. Valor del pH: El pH es la medida de la concentración del ion H^+ y OH^- . La presencia de estos iones en la capa de determinación del potencial puede causar que la carga de la partícula sea más positiva o menos negativa a valores de pH por debajo del punto isoeléctrico. Cada coagulante opera más efectivamente en un rango específico de pH y exhibe una máxima remoción de contaminantes a un pH óptimo. La extensión del rango de pH es afectada por el tipo de coagulante utilizado y por las características del agua residual además de la dosis de coagulante.

FLOCULACIÓN

Aglomeración de partículas desestabilizadas en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

La función de la floculación es optimizar la tasa de contacto entre las partículas desestabilizadas, por lo tanto, aumenta la tasa de colisión y provoca la unión y agregación de las partículas en flóculos más grandes y más densos que sean más susceptibles a la separación por sedimentación, o filtración.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE FLOCULACIÓN.

- A. Dosis óptima de polímero:** El punto a partir del cual el polímero no es totalmente adsorbido corresponde a la dosis óptima, que será la cantidad máxima de polímero que puede ser adsorbido sobre el sólido para producir un sistema floculado, a condición que ningún enlace de superficie sea roto después de la formación de los flóculos.

- B. Agitación:** Una adecuada agitación es necesaria tanto en el momento de dosificación del polímero como en el proceso de formación y engorde del flóculo. Una vez iniciada la floculación, conviene reducir la velocidad de agitación para evitar efectos de cizalladura que produzcan la rotura mecánica de los flóculos.

TEST DE JARRAS

El test de jarras es la herramienta disponible más valiosa para desarrollar criterios de diseño de nuevas plantas, optimización de operaciones de plantas, y para la evaluación y control del proceso de coagulación.

2.3 METODOLOGÍA

Muestra de Efluente.

Como material de estudio se usó el efluente generado durante la etapa de pelambre de la Curtiembre León de Judá, curtiembre ubicada en el distrito del porvenir de la ciudad de Trujillo. Se recolectaron 30 Litros de

efluente de la etapa de Pelambre de cuero de vacuno, en recipientes cerrados de 10 litros cada uno y se transportarán al laboratorio de Investigación de Aguas de la escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo.

Caracterización del agua residual.

La caracterización físico-química de los efluentes estudiados, se utilizaron métodos normalizados, los cuales se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla N° 5: Métodos Analíticos y equipos utilizados en la investigación.

PARAMETRO	MÉTODO	REFERENCIA
pH	Potenciométrico	
Sólidos Totales, ST	Evaporación	Standar Methods APHA, 2540-B
Sólidos suspendidos, SS	Evaporación	Evaporación Standar Methods APHA, 2540-D [9]
Turbiedad	Nefelométrico	
Color	Fotométrico	

Coagulación floculación.

Los efluentes de la etapa de Pelambre presentan un pH de 12, antes de proceso de coagulación - floculación las muestras se acondicionaron a pH 9, con adición de Ácido fosfórico diluido.

Se utilizaron 500 ml de muestra, las cuales fueron sometidas al proceso de coagulación floculación, en el equipo de prueba de Jarras programable de seis jarras, teniendo en cuenta la siguiente metodología.

- Para la Coagulación: Agitación : 120 rpm
Tiempo de agitación: 4 minutos

- Para la floculación: Agitación : 40 rpm
Tiempo de agitación: 4 minutos

Una vez concluido el proceso de coagulación y floculación en el equipo Jarras se dejaron reposar por 10 minutos las muestras tratadas; seguidamente se procedió a realizar los análisis respectivos a cada tratamiento (sólidos suspendidos, Color y turbidez).

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

En el presente capítulo muestra los resultados de la caracterización inicial del efluente de la etapa de pelambre de la Curtiembre León de Judá, ubicada en el distrito del Porvenir de la ciudad de Trujillo, así como los resultados de los análisis realizados para determinar la influencia del tipo de coagulante (sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y sulfato ferroso), dosificación del coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez del licor de pelambre de la curtiembre.

3.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL EFLUENTE:

Para el presente estudio se usó el efluente de la etapa de pelambre (licor de pelambre) de la Curtiembre León de Judá, el cual se caracteriza por presentar alta turbidez, al cual se le realizaron los análisis de DQO, sulfuros, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, pH y fueron comparados con los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA como se muestra en la tabla N° 6, a fin de mostrar la necesidad de aplicar un tratamiento a este tipo de efluente antes de ser descargados al medio ambiente.

Tabla N° 6 : Caracterización del efluente de Pelambre y su comparación con los VMA.

Parámetro	Efluente de Pelambre	D.S. N°021-2009 VIVIENDA
Demanda Química de Oxígeno, ppm	16,540	1,000
Sólidos Totales, ppm	25,538	
Sólidos disueltos Totales, ppm	16,062	
Sólidos suspendidos, ppm	9,476	500
pH	12,6	6 - 9
Turbiedad, NTU	7,000	
Color		

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla N° 6, se observa que los parámetros analizados superan los valores máximos admisibles para usuarios no domésticos, siendo el caso más relevante la concentración de sólidos suspendidos y DQO, los cuales superan en 19 y 16.5 veces la concentración permitida por la norma respectivamente, estos parámetros son críticos debido que altas concentración en aguas genera olores desagradables, en los alcantarillados forma sedimentos obstruyendo las tuberías y generando atoros; esto hace evidente la necesidad de aplicar un tratamiento que permita reducir la concentración de los sólidos suspendidos en este tipo de efluente, adecuándose a la normativa vigente.

3.2. Influencia de la concentración del coagulante policloruro de aluminio (PAC) y floculante aniónico en la remoción de la Sólidos Suspendidos.

Los resultados de la influencia de la concentración de coagulante PAC y floculante aniónico en la remoción de sólidos suspendidos se muestran en las figuras 2 y 3.

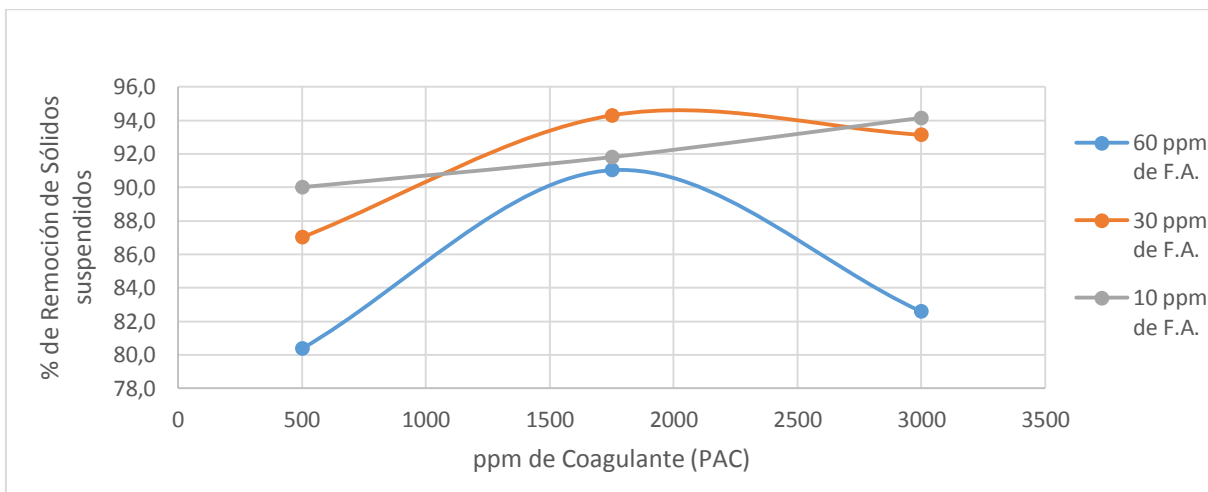


Figura 2: Influencia de la concentración del coagulante PAC en la remoción de Sólidos Suspendidos.

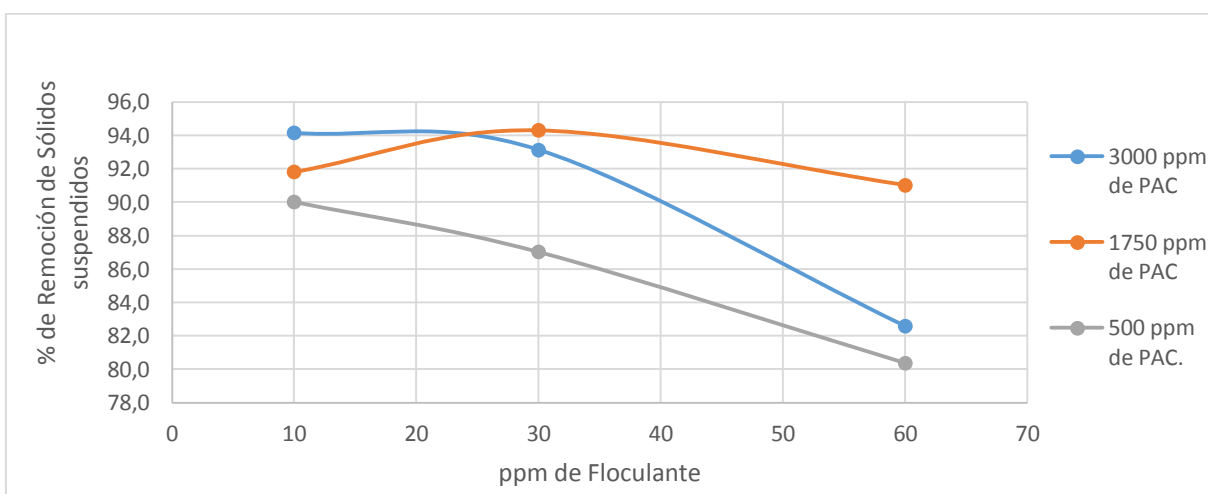


Figura 3: Influencia de la concentración de Floculante aniónico en la remoción de Sólidos Suspendidos.

En la figura 2, se observa que a concentraciones bajas y altas de coagulante la remoción de sólidos suspendidos es baja. En la figura 3 se aprecia que a concentraciones altas de floculante la remoción de sólidos suspendidos disminuye. Tendencias concordantes con los resultados mostrados en las figuras 6 y 7 de remoción de turbidez. Debido a que el proceso de coagulación remueve los sólidos suspendidos presentes en el efluente, también los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez al efluente.

3.3. Influencia de la concentración del coagulante policloruro de aluminio (PAC) y floculante aniónico en la remoción de la Color.

En la figura 4 y 5 se muestran los resultados de la evaluación de remoción de color a tres concentraciones de PAC (500, 1 750 y 3 000 ppm); cada una de ellas floculadas a 10, 30 y 60 ppm de floculante aniónico.

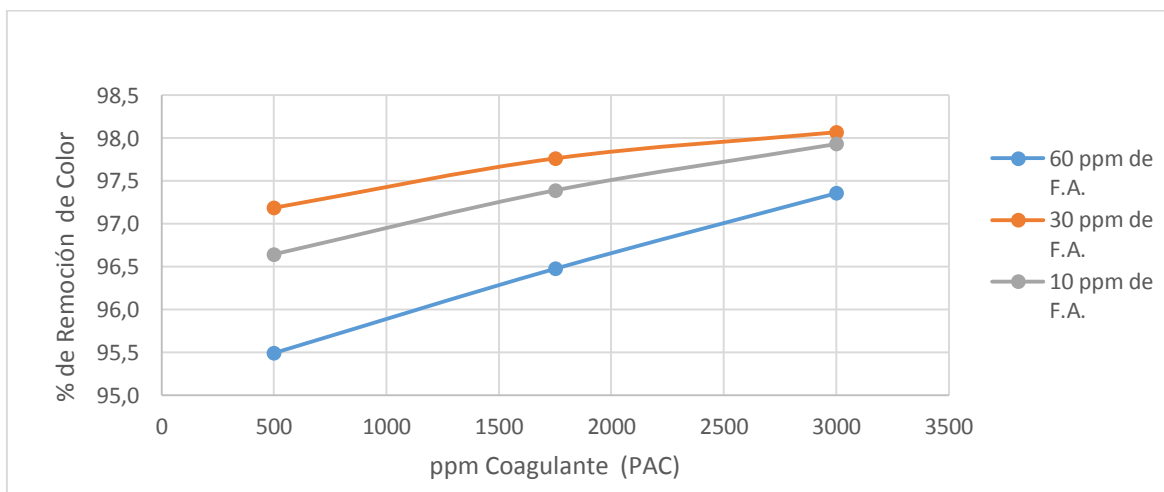


Figura 4: Influencia de la concentración del coagulante PAC en la remoción de Color.

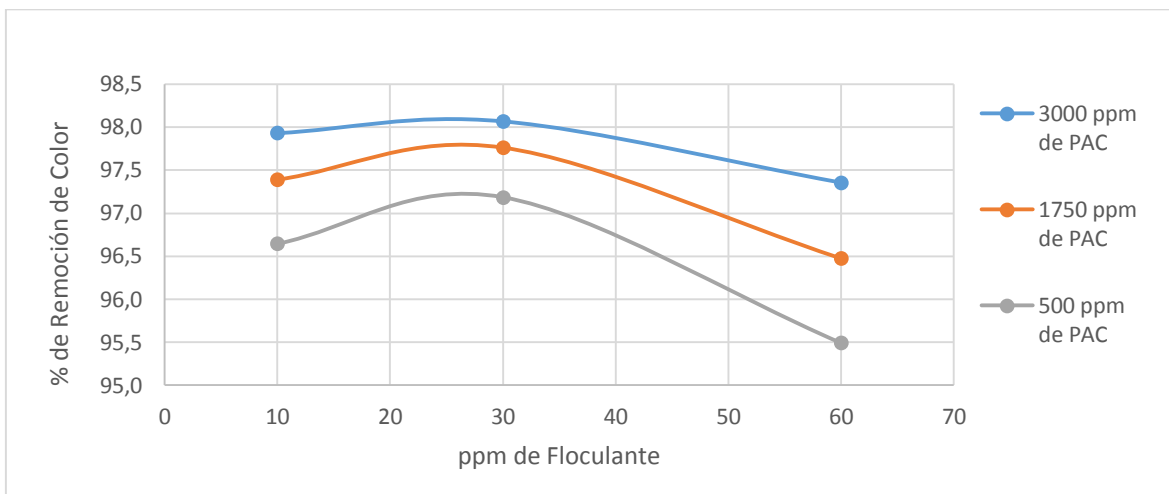


Figura 5: Influencia de la concentración de Flocculante aniónico en la remoción de Color.

En la figura 4, se observa que a mayor concentración de coagulante PAC aumenta la remoción del color; tener presente que el color es producto de las sustancias disueltas en el efluente, en este caso el color es producto de los reactivos remanentes del proceso de Pelambre, en la curtición de pieles. Al formarse los coágulos por más pequeños que ellos sean logran atrapar sustancias disueltas, ello explica que al aumentar la concentración del coagulante aumenta también la remoción del color.

De la gráfica 4 y 5 se observa que los mejores resultados de remoción de color se dan a concentraciones altas de coagulante PAC y concentraciones medias de flocculante; 3 000 ppm de PAC y 30 ppm de Flocculante aniónico respectivamente.

3.4. Influencia de la concentración del coagulante policloruro de aluminio (PAC) y floculante aniónico en la remoción de la Turbidez.

Se evaluó el porcentaje de remoción de la turbidez a tres concentraciones de PAC (500, 1 750 y 3 000 ppm); cada una de ellas floculadas a 10, 30 y 60 ppm de floculante aniónico. Los resultados se muestran en la figura 6 y 7.

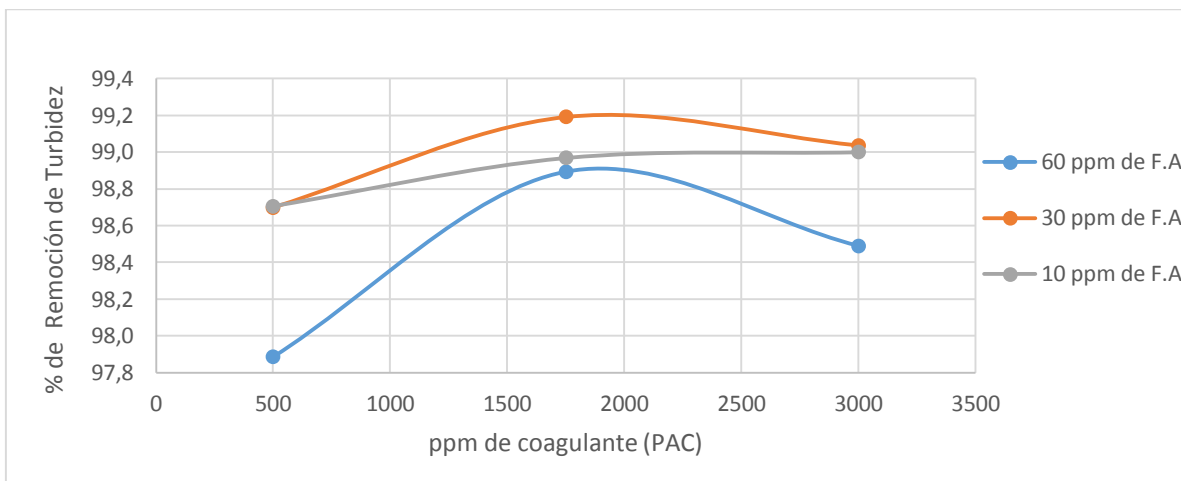


Figura 6: Influencia de la concentración de PAC en la remoción de Turbidez.

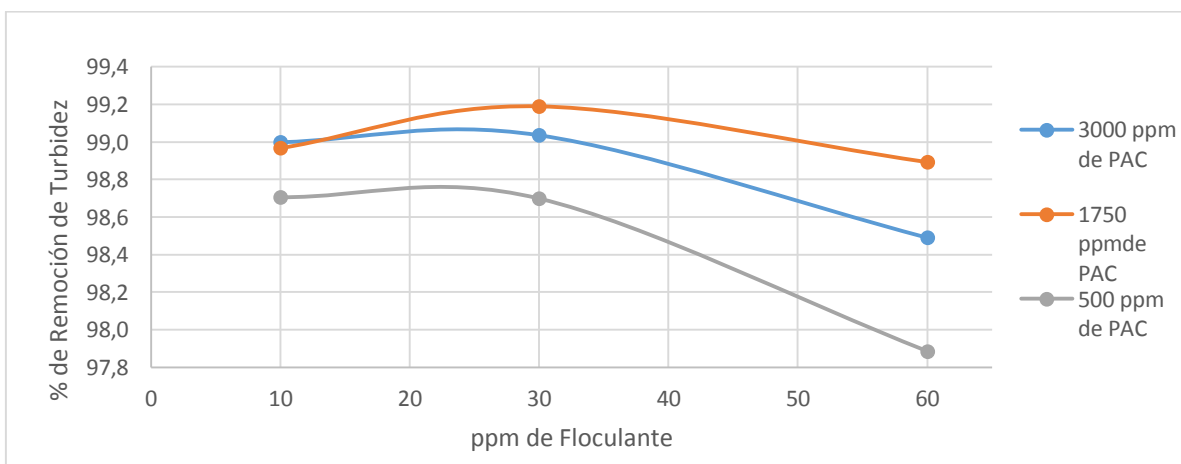


Figura 7: Influencia de la concentración de Flocculante aniónico en la remoción de Turbidez.

En la figura 6, se observa que al aumentar la concentración del coagulante PAC aumenta el porcentaje de remoción de Turbidez, posteriormente decae la remoción de turbidez a concentraciones altas de PAC (3000 ppm), para los tres casos de floculación, siendo mucho más marcada la tendencia a 60 ppm de Floculante aniónico. Debido a que el proceso de coagulación se lleva a cabo neutralizando las cargas de los sólidos suspendidos (acción de los coagulantes) para poder juntarlos (formar coágulos), esto implica que a concentraciones bajas de coagulantes se formaran pocos coágulos dejando parte de los sólidos suspendido en la muestra; a concentraciones altas de coagulante, estos van a competir por los sólidos suspendidos, formando coágulos de menor tamaño muchos de ellos permaneciendo en suspensión.

En la figura 7 se observa que a concentraciones altas de floculante la remoción de la turbidez decae para los tres casos de concentración de coagulante PAC. La acción del floculante es juntar los coágulos y formar flóculos, de tamaño mucho más grande que los coágulos. A concentraciones altas de coagulantes también va haber una competencia por los coágulos formados.

De la figura 6 y 7 se observa que los mejores resultados de remoción de turbidez se muestran a concentraciones medias de coagulante PAC y floculante; 1 750 ppm de PAC y 30 ppm de Floculante aniónico respectivamente.

3.5. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y floculante aniónico en la remoción de la Sólidos suspendidos.

Los resultados de la influencia de la concentración de coagulante Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y floculante aniónico en la remoción de sólidos suspendidos se muestran en las figuras 8 y 9.

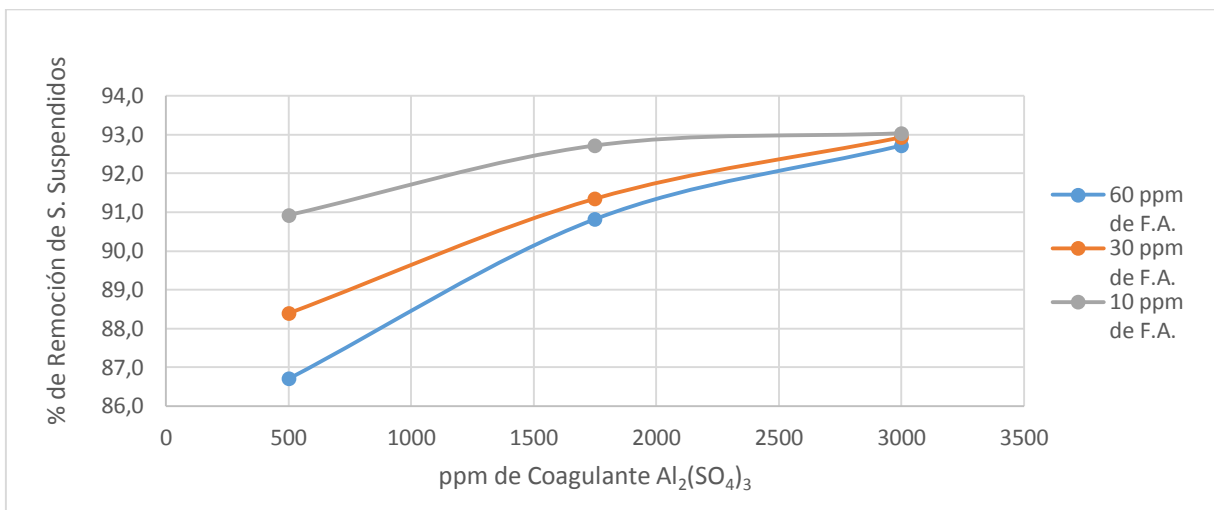


Figura 8: Influencia de la concentración de Coagulante $Al_2(SO_4)_3$, en la remoción de Sólidos suspendidos.

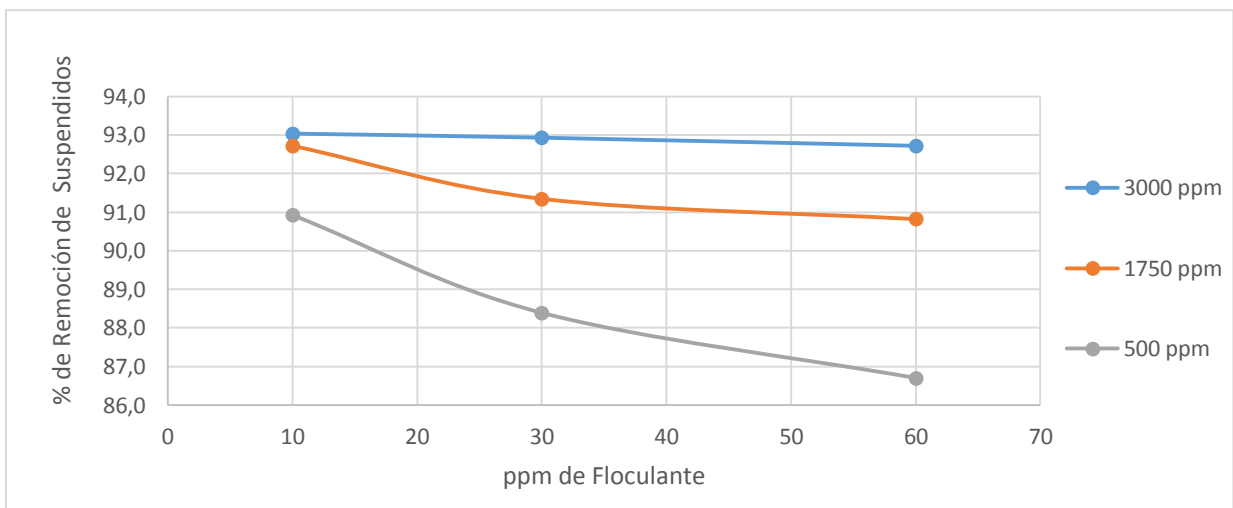


Figura 9: Influencia de la concentración de Flocculante aniónico, en la remoción de Sólidos suspendidos.

En las figura 8 y 9 se aprecian que la concentración de coagulante Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) si influye en la remoción de sólidos suspendidos; al aumentar la concentración de Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) también aumenta la concentración de sólidos suspendidos; reportándose los mejores resultados de remoción de sólidos suspendidos a concentraciones altas de coagulante.

3.6. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y floculante aniónico en la remoción de la Color.

En la figura 10 y 11 se presentan los resultados de la evaluación de remoción de color a tres concentraciones de Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (500, 1 750 y 3 000 ppm); cada una de ellas floculadas a 10, 30 y 60 ppm de floculante aniónico.

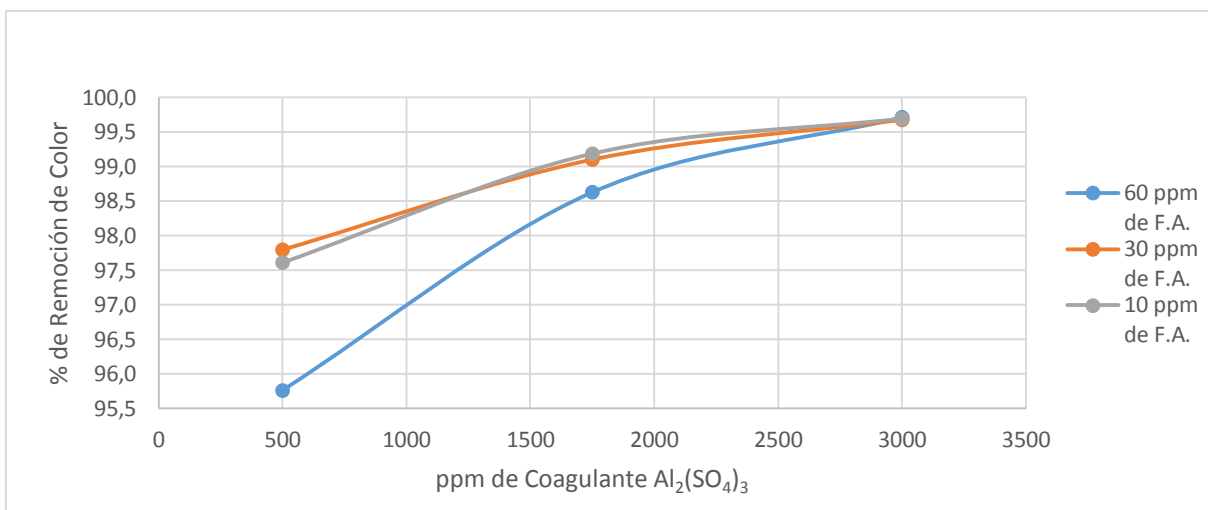


Figura 10: Influencia de la concentración de Coagulante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, en la remoción de Color.

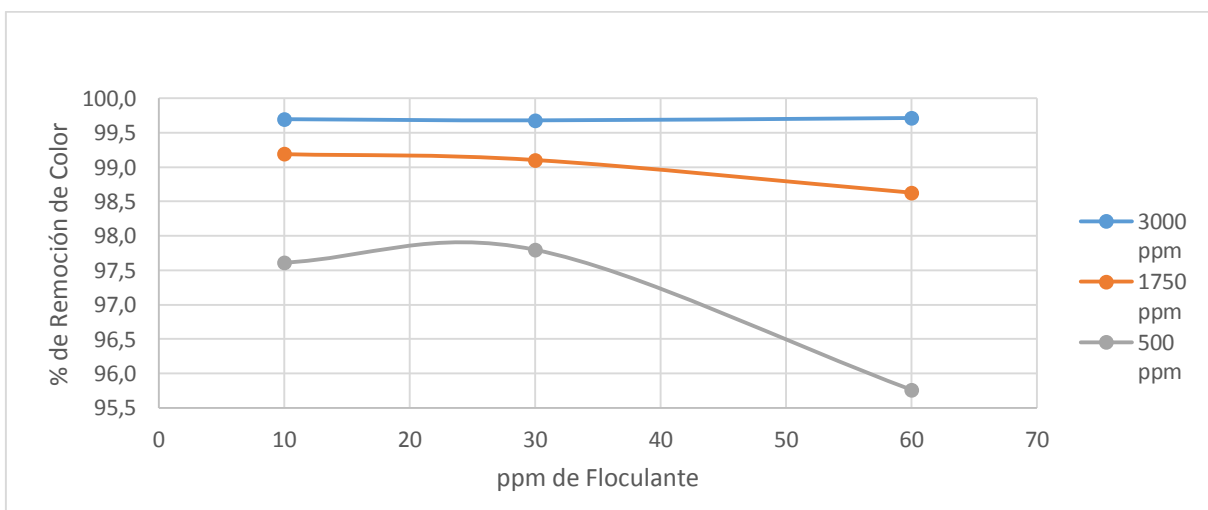


Figura 11: Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de Color.

En la figura 10 y 11 se observa que a mayores concentraciones de coagulante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, aumenta la remoción del color en el efluente, siendo los mejores resultados de remoción de color a concentraciones altas de coagulante sulfato de aluminio, 3 000 ppm respectivamente. Por las razones ya explicadas en la parte 3.3.

3.7. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y floculante aniónico en la remoción de la Turbidez.

En la figura 12 y 13 se presentan los resultados de la evaluación de remoción de turbidez a tres concentraciones de Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) (500, 1 750 y 3 000 ppm); cada una de ellas floculadas a 10, 30 y 60 ppm de floculante aniónico.

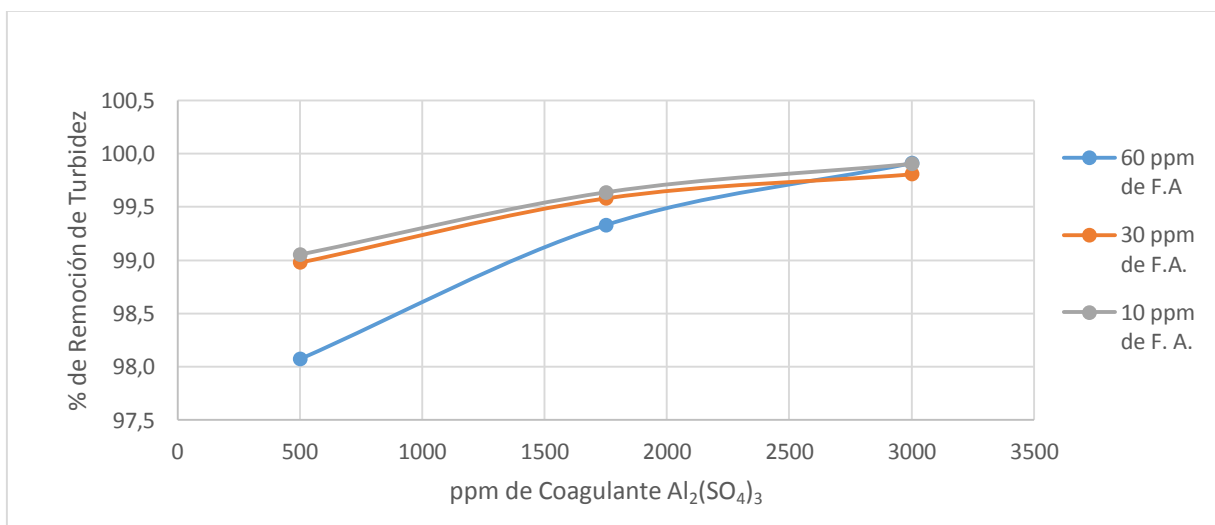


Figura 12: Influencia de la concentración de Coagulante $Al_2(SO_4)_3$, en la remoción de turbidez.

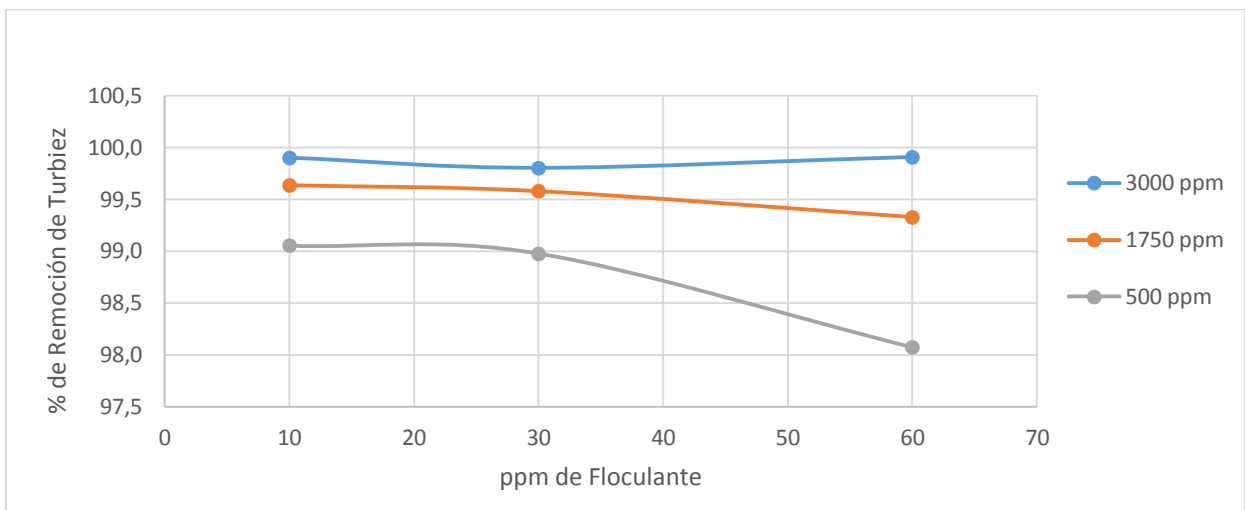


Figura 13: Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de turbidez.

En la figura 12 se observa que al aumentar la concentración del coagulante sulfato de aluminio de muy bajas a concentraciones medias (500 ppm a 1 750 ppm respectivamente) aumenta significativamente el porcentaje de remoción de la turbidez; de la misma manera al aumentar la concentración del sulfato de aluminio de concentraciones medias a altas (1 750 ppm a 3 000 ppm respectivamente) el aumento de la remoción de turbidez no es muy significativo. En la figura 13, se observa que a medida que aumentamos la concentración del floculante la variación de la remoción de la turbidez es pequeña, lo que no ocurre a concentraciones bajas de coagulante (500 ppm de sulfato de aluminio) el cual al aumentar la concentración del floculante la remoción de la turbidez disminuye.

La mejor remoción de la turbidez se da a concentraciones medias y altas de sulfato de aluminio.

A diferencia, cuando se utilizó concentraciones altas de PAC como coagulante la remoción de la turbidez disminuyó, por la competencia del coagulante por los sólidos suspendidos, debido a que el PAC un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas, forma lodos producto de los coágulos mucho más hidratados, coágulos más grandes, pero con menor peso que los formados con sulfato de aluminio. Los coágulos pequeños formados con sulfato de aluminio también llegan a sedimentar, pero en mayor tiempo. Los análisis de

turbidez se realizamos a los 15 minutos de terminado el proceso de coagulación floculación para todos los tratamientos.

3.8. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato ferroso (FeSO_4) y floculante aniónico en la remoción de la Sólidos Suspendidos.

La figura 14 y 15 muestra los resultados de la evaluación de remoción de sólidos suspendidos a tres concentraciones de Sulfato de ferroso (FeSO_4) (500, 1 750 y 3 000 ppm); cada una de ellas floculadas a 10, 30 y 60 ppm de floculante aniónico.

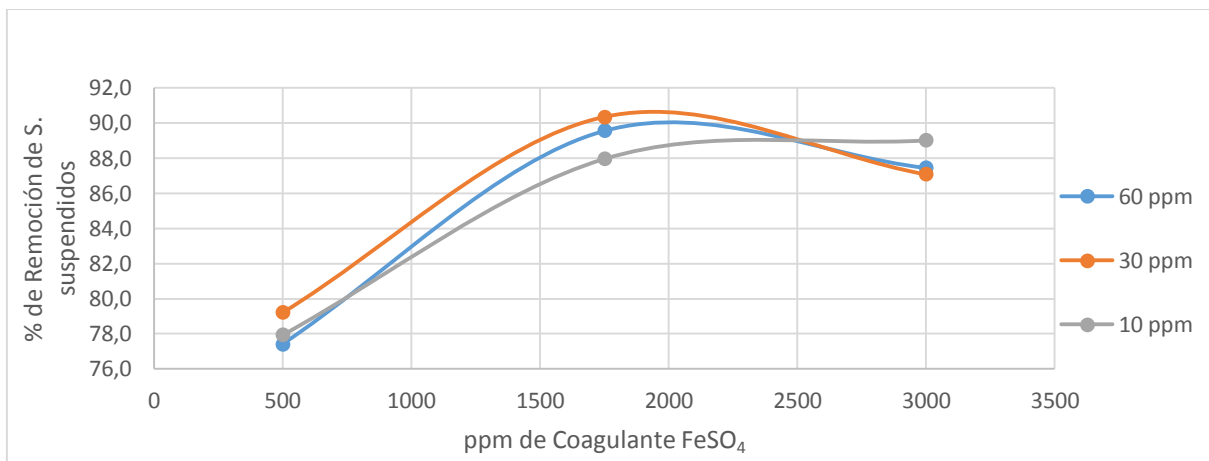


Figura 14: Influencia de la concentración de Coagulante FeSO_4 , en la remoción de Sólidos suspendidos

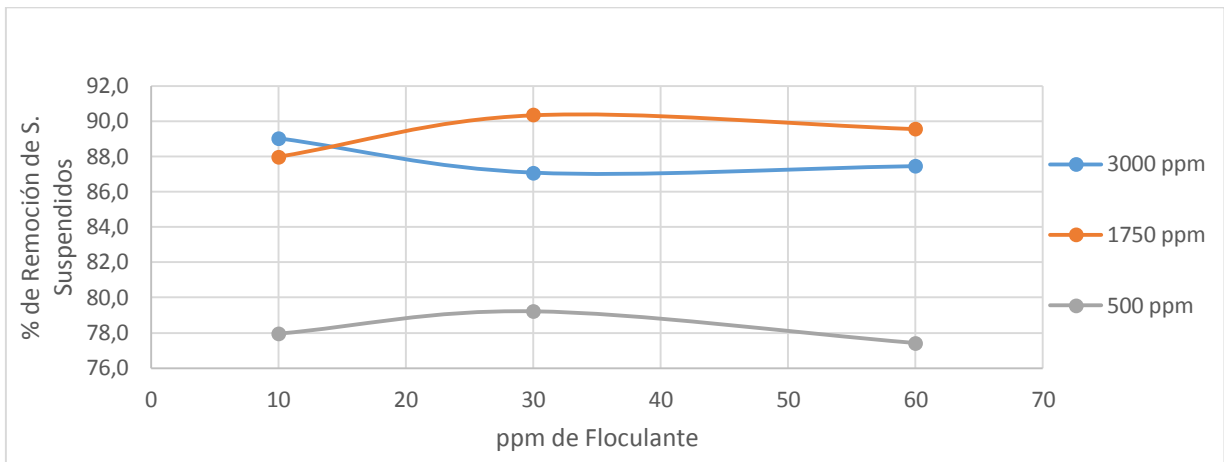


Figura 15: Influencia de la concentración de Flocculante aniónico, en la remoción de Sólidos suspendidos.

De la figura 14 y 15 se aprecia que la mejor remoción de sólidos suspendidos se dá a concentraciones medias de coagulantes y flocculante (1 750 ppm y 30 ppm respectivamente).

3.9. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato ferroso (FeSO₄) y flocculante aniónico en la remoción de Color.

En la figura 16 y 17 se presentan los resultados de la evaluación de la remoción de color a muestras tratadas a diferentes concentraciones de sulfato ferroso (500, 1 750 y 3 000 ppm); cada una de ellas flocculadas a 10, 30 y 60 ppm con flocculante aniónico.

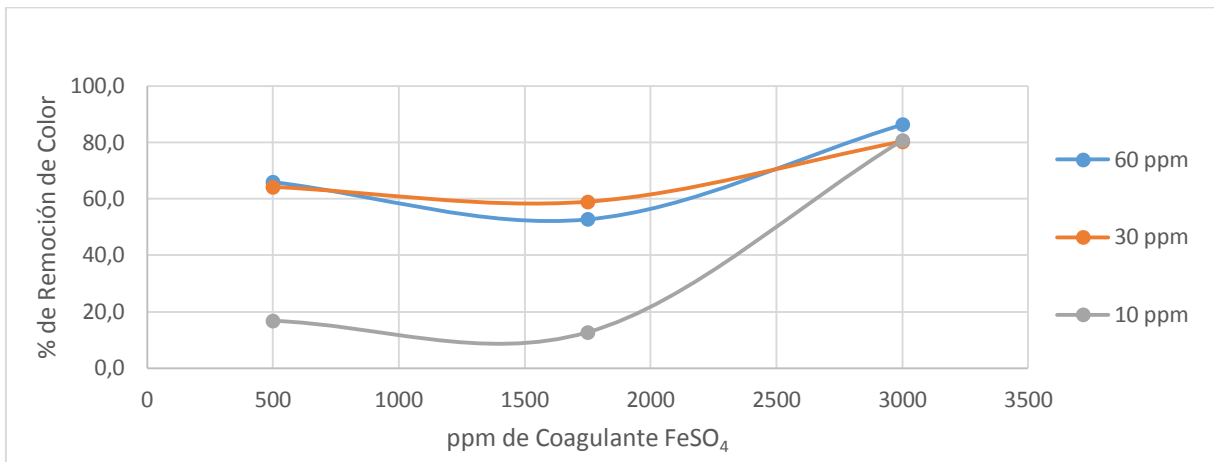


Figura 16: Influencia de la concentración de Coagulante FeSO₄, en la remoción de Color.

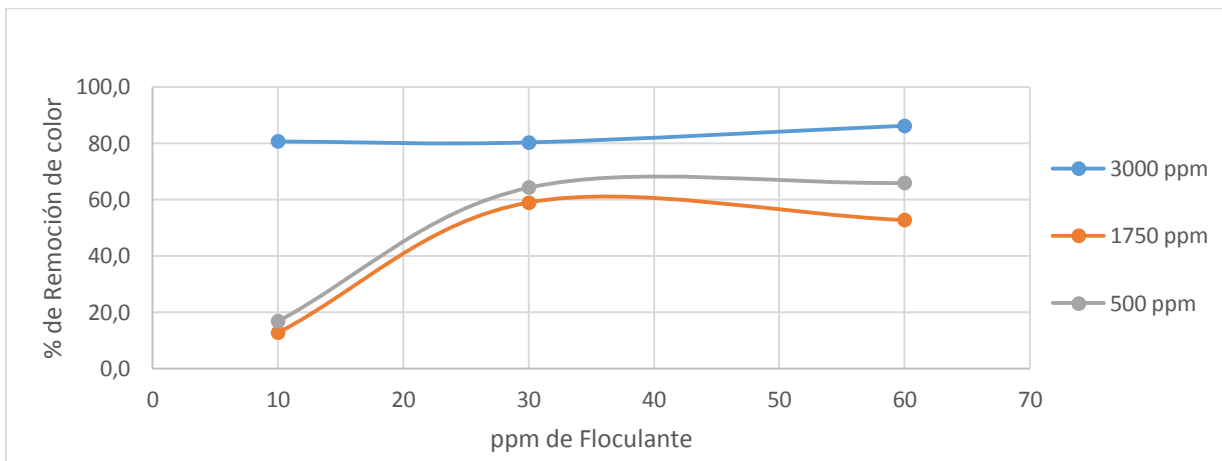


Figura 17: Influencia de la concentración de Floculante aniónico, en la remoción de Color.

En la figura 16, se aprecia que a medida que aumentamos la concentración del Coagulante de baja a media (500 a 1 750 ppm de FeSO₄), el porcentaje de remoción de color no es significativo, prácticamente se mantiene el valor.

Mostrando un aumento en la remoción de color al aumentar a concentraciones del coagulante sulfato ferroso, de medias a altas (1 750 a 3 000 ppm).

Tendencias diferentes cuando se utilizan los coagulantes policloruro de aluminio y sulfato de aluminio, se puede explicar debido que el efluente de

Pelambre contiene sulfuro disuelto en el efluente, en forma de sulfuro de sodio; el cual reacciona con el ión ferroso Fe^{+2} presente en el sulfato ferroso formando sulfuro ferroso en forma de sólidos muy finos de color negro, tiñendo las muestras de ese color, tal como se muestran las fotografías del tratamiento respectivo en el anexo 3. Por lo tanto al aumentar las concentraciones de coagulante de bajas a medias (500 a 1 750 ppm de sulfato ferroso), parte del ión ferroso coagula los sólidos suspendidos eliminando a su paso un porcentaje de color de las muestras; además parte del ión ferroso se consume al reaccionar con el sulfuro que se encuentra en suspensión coloreando a las muestras de negro, aumentando en valor de color.

De la figura 16 y 17 se aprecia que a concentraciones altas de coagulante sulfato ferroso (3 000 ppm) y concentraciones medias de floculante (30 ppm) se reportan los mejores resultados de remoción de color.

3.10. Influencia de la concentración del coagulante Sulfato ferroso (FeSO_4) y floculante aniónico en la remoción de la Turbidez.

La figura 18 y 19 muestran los resultados de la evaluación de remoción de turbidez a tres concentraciones de Sulfato ferroso FeSO_4 (500, 1 750 y 3 000 ppm); cada una de ellas floculadas a 10, 30 y 60 ppm de floculante aniónico.

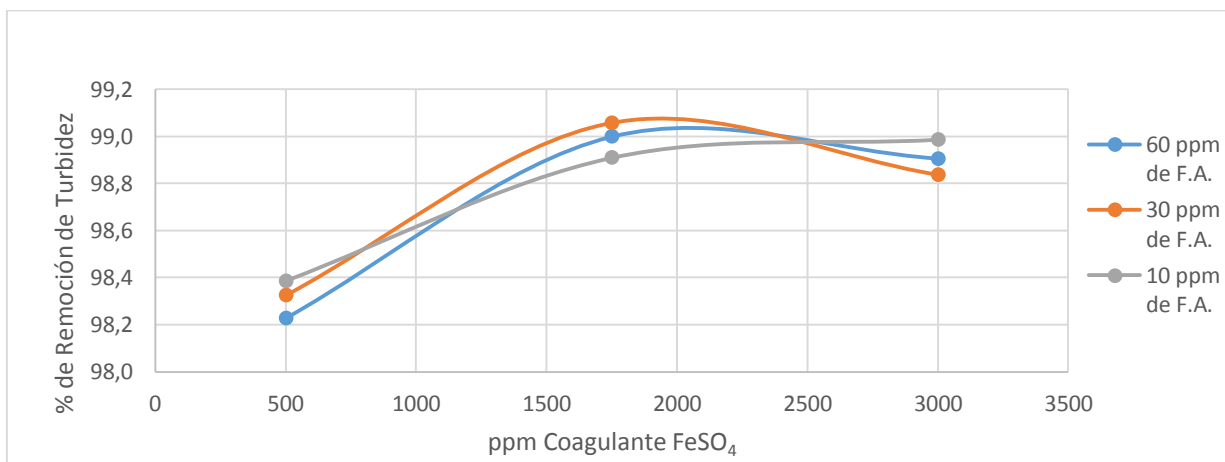


Figura 18: Influencia de la concentración de Coagulante FeSO_4 , en la remoción de turbidez.

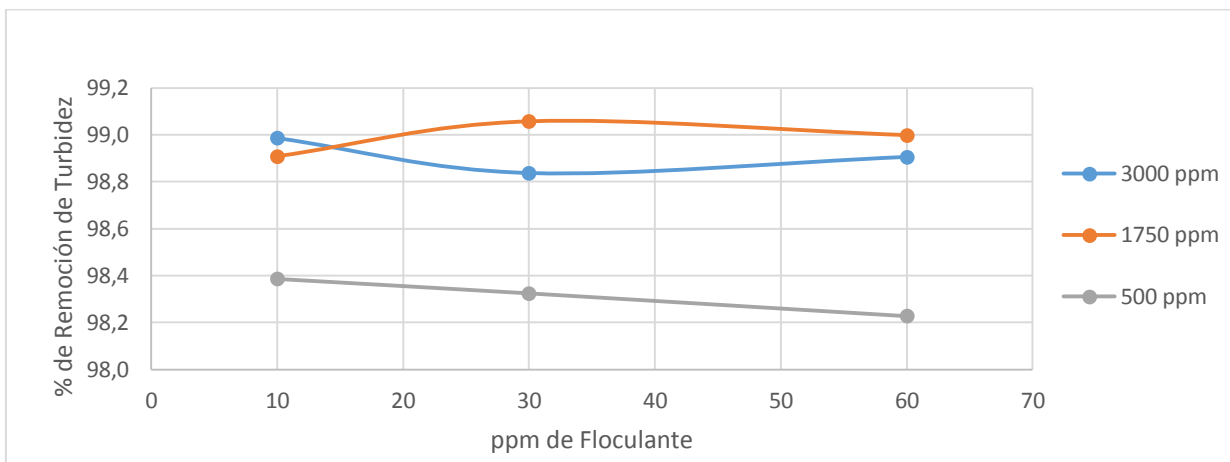


Figura 19: Influencia de la concentración de Flocculante aniónico, en la remoción de turbidez.

De la figura 18 y 19 se observa que la influencia de la concentración del coagulante FeSO_4 es significativo cuando aumentamos de concentraciones bajas a concentraciones medias es decir de 500 a 1 750 ppm de sulfato ferroso, no siendo significativo la variación de remoción de turbidez cuando aumentamos la concentración del coagulante de media a alta concentraciones de sulfato ferroso (1 750 a 3 000 ppm de FeSO_4).

A concentraciones bajas de 500 ppm de sulfato ferroso se observan las remociones de turbidez más bajas.

3.11. Comparación del porcentaje de remoción de turbidez, color y sólidos suspendidos trabajados con los tres tipos de coagulantes PAC, sulfato de aluminio y Sulfato ferroso.

En las figuras 20, 21 y 22 se presentan la comparación de los porcentajes de remoción de turbidez, color y sólidos suspendidos, trabajados a 500, 1750 y 3000 ppm de coagulante y flocculadas a 30 ppm de flocculante aniónico.

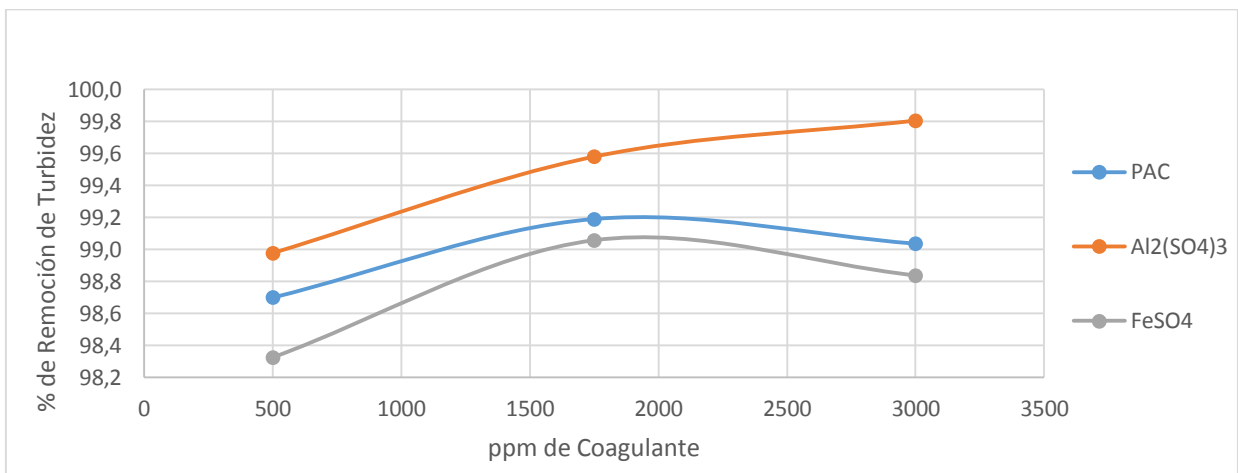


Figura 20: Comparación del porcentaje de remoción de Turbidez trabajados con PAC, sulfato de aluminio y sulfato ferroso; floculados con 30 ppm de floculante aniónico.

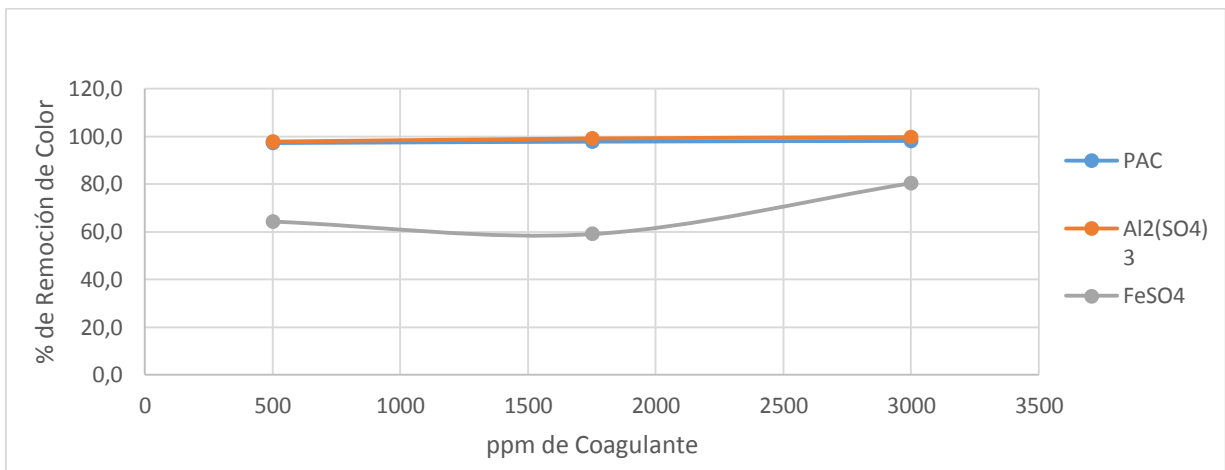


Figura 21: Comparación del porcentaje de remoción de Color, trabajados con PAC, sulfato de aluminio y sulfato ferroso; floculados con 30 ppm de floculante aniónico.

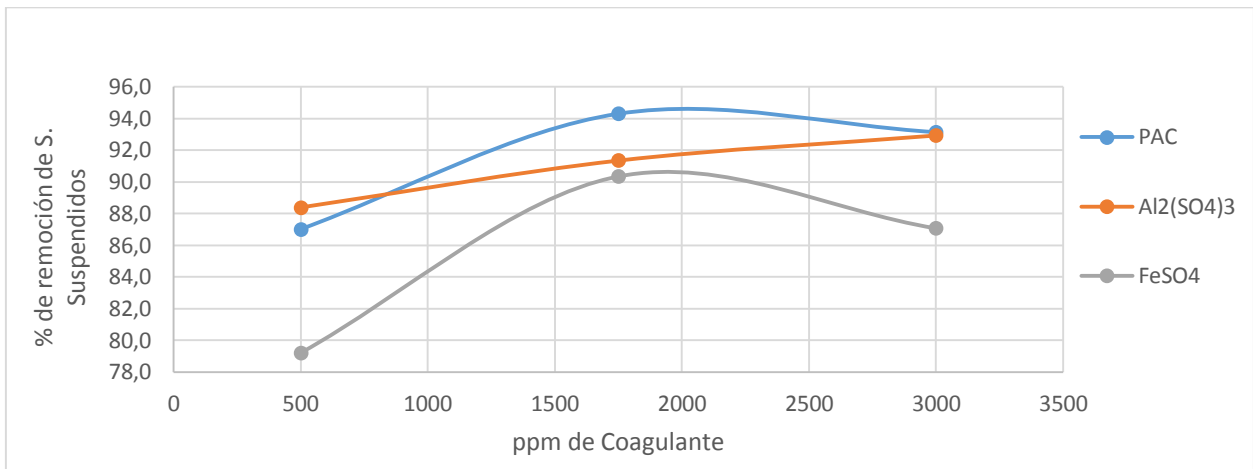


Figura 22: Comparación del porcentaje de remoción de S. suspendidos trabajados con PAC, sulfato de aluminio y sulfato ferroso; flocculados con 30 ppm de flocculante aniónico.

Los mejores resultados de remoción de turbidez se obtienen con el sulfato de aluminio a dosis baja, media y alta de coagulante (500, 1 750 y 3 000 ppm) tal como se aprecia en la figura 20.

De la figura 20, 21 y 22 se aprecia que los menores porcentaje de remoción de turbidez, color y sólidos suspendidos se obtienen con el sulfato ferroso; tal como se explicó en 3.9, el efluente de Pelambre contiene sulfuro disuelto en el efluente, en forma de sulfuro de sodio; el cual reacciona con el ión ferroso Fe^{+2} presente en el sulfato ferroso (coagulante) formando sulfuro de ferroso en forma de sólidos muy finos de color negro, los cuales permanecen en suspensión tiñendo el efluente de negro; disminuyendo el poder coagulante del sulfato ferroso en este tipo de efluente.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el trabajo experimental podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- El tipo de coagulante influye en el proceso de coagulación de los efluentes de Pelambre de la industria de curtición, siendo los coagulantes a base de aluminio los que muestran los mejores resultados en remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez.
- La dosificación del coagulante influye en el proceso de coagulación de los efluentes de Pelambre, a dosificaciones bajas presentan los menores porcentajes de remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez para los tres tipos de coagulantes.
- La dosificación del floculante aniónico influye en el proceso de coagulación de los efluentes de Pelambre, mostrando los mejores resultados de remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez a dosificaciones medias del floculante.
- El sulfato de aluminio como coagulante y a dosis altas (3 000 ppm) presenta la mejor remoción de turbidez y color, llegando a remover 99,9 % y 99,7 % respectivamente.
- La mejor remoción sólidos suspendidos se presenta con el policloruro de aluminio PAC, a dosificaciones medias de coagulante (1 750 ppm), llegando a remover hasta 94,3 %.

RECOMENDACIONES

- Caracterizar los lodos formados producto del proceso de coagulación floculación, con la finalidad de buscar alternativas tratamiento y disposición final.
- Realizar pruebas a escala piloto con la finalidad de evaluar la influencia de la agitación a volúmenes grandes de efluente.
- Evaluar económicamente el proceso con la finalidad de tener la posibilidad de implementar el proceso a escala de planta.
- Debido a la presencia de sulfuros en este tipo de efluente se recomienda evaluar el porcentaje de remoción de sulfuros en el proceso de coagulación floculación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

[1] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, (2006). Manual de Buenas Prácticas Ambientales para la Curtiembre en Centroamérica. CIATEC.

[2] Rey de Castro Rosas, Ana Cristina (Agosto del 2013). Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Tesis para optar el Título de Licenciado en Química. Pontificia universidad católica del Perú, Lima, pp.1-2.

[3] Miller S, Gagnet A, Worden R (1999). Informe para el Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Comercio MITINCI. Reporte Técnico para la Industria de Curtiembres en el Perú. Lima, Perú.

[4] Journal of Hazardous Materials (10 November 2014) *Coagulation–flocculation mechanisms in wastewater treatment plants through zeta potential measurements*. Disponible online en <[http:// www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat)>

[5] Yorkshire Forward, Victoria House, Victoria Place (3 November 2003). Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. ELSEVIER, pp. 249-259.

[6] Rey de Castro Rosas, Ana Cristina (Agosto del 2013). Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Tesis para optar el Título de Licenciado en Química. Pontificia universidad católica del Perú, Lima, pp.11.

[7] Rivera, M. (2010). *2010. Gestión Ambiental para minimizar la contaminación generada por la industria de curtiembre en el distrito de El Porvenir*. . Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Fac. Ingeniería Agroindustrial.

[8] Pinedo, R. (2012). *Impactos ambientales generados por la curtiembre D-Leyse, en el distrito de el Porvenir, provincia Trujillo, Region La Libertad*. Tingo Maria: Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables.

[9] APHA, AWWA, WPCF,(1998). Standar Methods for the examination of Water and Wastewater, 20th edition.

[10] Rodriguez, C. (2015), *Influencia del ph, concentración de coagulante a base de aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres*, tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Nacional de Trujillo, 2015.

[11] Cerón, Pamela. (2011), *Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre*, tesis de grado para optar el título de Ingeniería Ambiental en la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

[12] Fuquene, D. (2011) *Optimización del uso del agua en la etapa de pelambre en un proceso que permita la mejor calidad del cuero final y el menor impacto ambiental*, tesis para obtener el grado de Magister en Ingeniería Ambiental, en la Universidad Nacional de Colombia.

ANEXO 1

EQUIPOS UTILIZADOS EN EL TRABAJO EXPERIMENTAL.



FOTO 1: Espectrofotómetro UV-VIS



FOTO 2: Equipo de jarras.



FOTO 3: Turbidímetro.



FOTO 4: pH metro



FOTO 5: Reactivos utilizados en el trabajo experimental

ANEXO 2

REGISTRO DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Tabla 7: Resultados de los tratamientos realizados con Policloruro de aluminio PAC.

EXP	Dosis de coagulante (ppm)	Dosis de floculante (ppm)	Turbidez (NTU)	Color (525 nm) 3wl	SOLIDOS SUSPENDIDOS ppm	% Remoción turbidez	% Remoción Color	% remoción SS
1	3000	60	105.7	15.6	1650	98.5	97.4	82.6
2	3000	30	67.5	11.4	650	99.0	98.1	93.1
3	3000	10	70.1	12.21	554	99.0	97.9	94.2
4	1750	60	77.5	20.8	850	98.9	96.5	91.0
5	1750	30	56.7	13.2	540	99.2	97.8	94.3
6	1750	10	72.3	15.4	776	99.0	97.4	91.8
7	500	60	148	26.6	1860	97.9	95.5	80.4
8	500	30	91.1	16.6	1230	98.7	97.2	87.0
9	500	10	90.6	19.8	946	98.7	96.6	90.0
Muestra			7000	590	9476	0.0	0.0	0.0

Tabla 8: Resultados de los tratamientos realizados con Sulfato de aluminio.

EXP	Dosis de coagulante (ppm)	Dosis de floculante (ppm)	Turbidez (NTU)	Color (525 nm) 3wl	SOLIDOS SUSPENDIDOS ppm	% Remoción turbidez	% Remoción Color	% remoción SS
10	3000	60	6.27	1.7	690	99.9	99.7	92.7
11	3000	30	13.6	1.9	670	99.8	99.7	92.9
12	3000	10	6.72	1.8	660	99.9	99.7	93.0
13	1750	60	46.9	8.1	870	99.3	98.6	90.8
14	1750	30	29.4	5.3	820	99.6	99.1	91.3
15	1750	10	25.4	4.8	690	99.6	99.2	92.7
16	500	60	135	25	1260	98.1	95.8	86.7
17	500	30	71.6	13	1100	99.0	97.8	88.4
18	500	10	66.3	14.1	860	99.1	97.6	90.9
Muestra			7000	590	9476	0.0	0.0	0.0

Tabla 9: Resultados de los tratamientos realizados con Sulfato Ferroso.

EXP.	Dosis de coagulante (ppm)	Dosis de floculante (ppm)	Turbidez (NTU)	Color (525 nm) 3wl	SOLIDOS SUSPENDIDOS ppm	% Remoción turbidez	% Remoción Color	% remoción SS
19	3000	60	76.6	81	1190	98.9	86.3	87.4
20	3000	30	81.4	116	1225	98.8	80.3	87.1
21	3000	10	71	114	1040	99.0	80.7	89.0
22	1750	60	70.1	279	990	99.0	52.7	89.6
23	1750	30	65.99	242	915	99.1	59.0	90.3
24	1750	10	76.4	515	1140	98.9	12.7	88.0
25	500	60	124.1	201	2140	98.2	65.9	77.4
26	500	30	117.3	211	1970	98.3	64.2	79.2
27	500	10	113	491	2090	98.4	16.8	77.9
Muestra			7000	590	9476	0.0	0.0	0.0

ANEXO 3

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL



FOTO 6: Muestra de Pelambre.



FOTO 7: Efluentes tratados con Policloruro de aluminio PAC.



FOTO 8: Efluentes tratados con sulfato de aluminio



FOTO 9: Efluentes tratados con sulfato ferroso

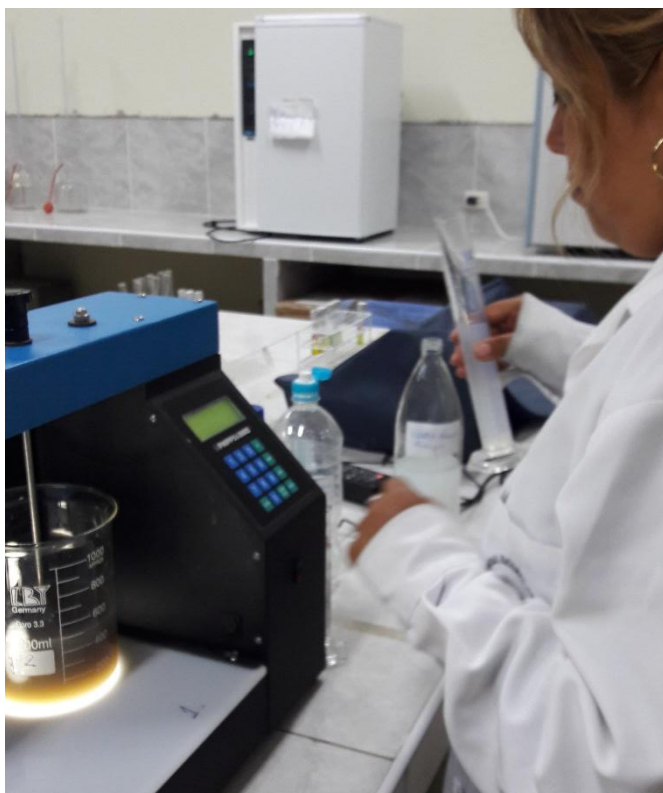


FOTO 10: Preparado de soluciones de coagulante.



FOTO 11: Los 27 tratamientos de efluentes tratados con PAC, Sulfato de aluminio, Sulfato ferroso,

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título : Influencia del tipo de coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre en curtiembres.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODOS	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<i>Problema Principal</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Hipótesis General</i>					
¿De qué manera influye el tipo de coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez, en los efluentes de pelambre de curtiembre?	Determinar la influencia del tipo de coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre de la curtiembre.	La remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre de curtiembre aumenta al aumentar la dosis de coagulante y floculante.	DEFINICIÓN CONCEPTUAL Variables Dependientes : - Color - Turbidez - Sólidos suspendidos.	Remoción de color, turbidez y SS.	Tipo de Investigación: Aplicada Nivel de investigación: Correlacional Diseño de la investigación: Experimental Universo : Está por los efluentes del proceso de curtiación. Muestra : 30 litros de efluente de Pelambre	Se utilizará la metodología de superficies de respuesta, para lo cual tendremos 3 niveles para cada una de las 3 variables, dando un total de 27 ensayos	Equipos e Instrumentos del Laboratorio Guías de observación de campo