



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

EFFECTO COAGULANTE DE LA ALÚMINA EN LA REMOCIÓN DE
SULFUROS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL EFLUENTE DE
PELAMBRE, INVERSIONES HAROD S.A.C.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

AUTOR:

JILDA YAMILY SILVA FLORES

ASESOR:

MSc. ISIDORO VALDERRAMA RAMOS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

TRUJILLO –PERÚ

2016

JURADO EVALUADOR

Ing. Medardo Alberto Quezada
PRESIDENTE

Ing. Misael Ydilbrando Villacorta
SECRETARIO

Ing. Isidoro Valderrama Ramos
VOCAL

TRUJILLO-PERU
2016

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a mis padres Cesar Augusto Silva Quezada y Ruperta Flores Carlos que son los dos pilares más importantes en mi vida, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos Eyson, Jaime, Jessica, Katia, Dayana y Nayara por sus consejos, amistad y darme el ejemplo de sobresalir en todo momento y triunfar.

SILVA FLORES JILDA YAMILY

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me dio sabiduría, gracia y salud para llegar a cumplir mi meta.

A mi familia por su ánimo, consejos y fortaleza me ayudaron a continuar esforzándome haciendo realidad lo que antes era un sueño la presentación de esta tesis.

Al Ingeniero Isidoro Valderrama Ramos por su dedicación y asesoría, su esfuerzo ha tenido frutos en este legado.

Un sincero agradecimiento a la curtiembre Inversiones Harod S.A.C. por la oportunidad y facilidad que me brindaron para desarrollar esta tesis.

SILVA FLORES JILDA YAMILY

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jilda Yamily Silva Flores con DNI N° 74085739, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 22 de Noviembre del 2016

Jilda Yamily Silva Flores

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado

Pongo a su disposición la tesis titulada “EFECTO COAGULANTE DE LA ALÚMINA EN LA REMOCIÓN DE SULFUROS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL EFLUENTE DE PELAMBRE, INVERSIONES HAROD S.A.C.”; para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Contribuir de esta forma para disminuir el grave impacto que estos contaminantes causan para la vida acuática de los ríos, ambiente y la salud de los trabajadores; y que la empresa tenga menor costo de producción.

La Autora

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
I. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Realidad Problemática.....	4
1.2. Trabajos Previos:.....	5
1.3. Teorías Relacionados al Tema	7
1.3.1. Marco teórico	7
1.3.2. Marco Conceptual:.....	13
1.4. Formulación del Problema.....	15
1.5. Justificación del estudio	15
1.6. Hipótesis.....	16
1.7. Objetivos	16
1.7.1. General.....	16
1.7.2. Específicos:.....	16
II. METODOLOGIA	17
2.1. Diseño de Investigación	17
2.2. Variables y Operacionalización de variables	17
2.2.1. Variables independientes:.....	17
2.2.2. Variables dependiente:	17
2.2.3. Operacionalización de variables.....	18
2.3. Población, Muestra.....	19
2.3.1. Población.....	19
2.3.2. Muestra	19
2.3.3. Unidad de análisis.....	19
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .	19
2.4.1. Técnicas e instrumentos:	19
2.4.2. Equipos e Instrumentos.....	20
2.4.3. Validez y Confiabilidad de Datos	20
2.4.4. Métodos de análisis de datos	21
2.5. Aspectos éticos.....	22
III. RESULTADOS.....	23

IV. DISCUSIÓN:	28
V. CONCLUSIONES:	30
VII. BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXOS	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores máximos admisibles para descargas al alcantarillado	10
Tabla 2: Diseño Experimental con pH, dosis de coagulante y velocidad de agitación	17
Tabla 3: Operacionalización de variables.	18
Tabla 4: Parámetros Físicoquímicos a analizar en el efluente de la etapa de pelambre..	19
Tabla 5: Equipos e Instrumentos	20
Tabla 6: Normas Peruanas para calibración de equipos	20
Tabla 7: Características físicoquímicas de la muestra de agua residual de la etapa de pelambre, y su comparación con los valores máximos admisibles	23
Tabla 8: Porcentajes promedio de remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre.	24
Tabla 9: Análisis estadístico	27
Tabla 10: Determinación de sólidos totales:	35
Tabla 11: Determinación de sólidos suspendidos:	35
Tabla 12: Determinación de sólidos disueltos:	36
Tabla 13: Determinación de pH:	36
Tabla 14: Determinación de conductividad:	36
Tabla 15: Determinación de turbidez:	37
Tabla 16: Determinación de sulfuros:	37
Tabla 17: Cuadro de resultados de los tratamientos en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre, para la primera repetición.	44
Tabla 18: Cuadro de resultados de los tratamientos en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre, para la segunda repetición. ..	45
Tabla 19: Cuadro de resultados de los tratamientos en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre, para la tercera repetición.	46
Tabla 20: Pruebas de los efectos inter-sujetos	48
Tabla 21: Comparaciones múltiples de las variables dependientes en función al pH.	49
Tabla 22: Comparaciones múltiples de las variables dependientes en función a la Dosis de coagulante.	50
Tabla 23: Pruebas de Normalidad	53
Tabla 24: Pruebas de Varianza.....	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la curtiembre Inversiones Harod S.A.C.	8
Figura 2: Esquema de la producción de cuero de la curtiembre INVERSIONES HAROD S.A.C.	9
Figura 3: Dosis de coagulante alúmina en función de remoción de sulfuros a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 200 rpm.....	25
Figura 4: Dosis de coagulante en función de remoción de sulfuros a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 100 rpm.....	25
Figura 5: Dosis de coagulante en función de remoción de sólidos suspendidos a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 200 rpm.	26
Figura 6: Dosis de coagulante en función de remoción de sólidos suspendidos a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 100 rpm.	27
Figura 7: Recolección de la muestra del efluente de pelambre.....	38
Figura 8: Filtración de la muestra.....	38
Figura 9: Muestra filtrada.....	38
Figura 10: Determinación de la turbidez.....	39
Figura 11: Determinación de sólidos totales.....	39
Figura 12: Determinación de sólidos Disueltos.....	39
Figura 13: Determinación de sólidos Suspendidos.....	40
Figura 14: Medición de la conductividad.....	40
Figura 15: Medición del pH.....	40
Figura 16: Insumos químicos para el tratamiento del agua residual.....	41
Figura 17: Ajuste del pH.....	41
Figura 18: Agitación de la muestra a velocidades de 100 y 200 rpm.....	41
Figura 19: Adición de la dosis de coagulante.....	42
Figura 20: Adición de la dosis de floculante.....	42
Figura 21: Muestras tratadas de la primera, segunda y tercera repetición.....	42
Figura 22: Determinación de sólidos suspendidos del agua residual tratada.....	43
Figura 23: Determinación de sulfuros.....	43
Figura 24: Medias marginales estimadas de remoción de sulfuros en función a pH y velocidad de agitación.....	51
Figura 25: Medias marginales estimadas de remoción de sulfuros en función a pH y Dosis de coagulante.....	51
Figura 26: Medias marginales estimadas de remoción de sólidos suspendidos en función a pH y velocidad de agitación.....	52
Figura 27: Medias marginales estimadas de remoción de sólidos suspendidos en función a pH y Dosis de coagulante.....	52

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se evaluó la influencia de pH, dosis de coagulante y velocidad de agitación sobre el porcentaje de remoción de sulfuros y sólidos suspendidos presentes en el efluente de la etapa de pelambre de la curtiembre Inversiones Harod S.A.C., usando el método de proceso de coagulación a nivel de laboratorio con sulfato de alúmina como coagulante y polímero aniónico como floculante, para ello se procedió a tomar 28 litros como muestra del efluente del botal, a través de un muestreo aleatorio simple; teniendo como población 8 m³ de agua residual.

Para realizar el proceso de coagulación se utilizó como instrumento un test de jarras para encontrar la mejor dosis, velocidad de agitación y pH; se trabajó a tres dosis de coagulante (1300, 1400 y 1500ppm), dos velocidades de agitación de (100 y 200 rpm) y a tres pH de (9, 10 y 11), y floculante aniónico a una concentración constante de 20ppm.

De los resultados obtenidos se determinó que la mayor remoción de estos contaminantes presentes en las aguas residuales se alcanzó para las tres repeticiones con un pH de 9, 1500 ppm de dosis de coagulante y a una velocidad de agitación de 200 rpm; con porcentajes de remoción promedio de 85.87 % de sulfuros y 98.50% de sólidos suspendidos.

Por lo que se concluye que el proceso de coagulación logra remover sulfuros y sólidos suspendidos de las aguas residuales de la etapa de pelambre, Inversiones Harod S.A.C.

PALABRAS CLAVES: Efluente, Coagulación, Dosis, agitación, pH.

ABSTRACT

In the present study, the influence of pH, coagulant dose and agitation speed was evaluated on the percentage of sulphide removal and suspended solids present in the effluent from the tanning stage of the Harod SAC Inversiones tannery using the method Of laboratory coagulation process with alumina sulphate as coagulant and anionic polymer as flocculant, for that it was proceeded to take 28 liters as a sample of the effluent of the botal, through a simple random sampling; Having as population 8 m³ of residual water.

To perform the coagulation process, a jar test was used as the instrument to find the best dose, agitation speed and pH; (100, 200 rpm) and at three pHs of (9, 10 and 11), and anionic flocculant at a constant concentration of 20ppm were worked in three coagulant doses (1300, 1400 and 1500ppm).

From the results obtained it was determined that the greatest removal of these contaminants present in the wastewater was reached for the three replicates with a pH of 9, 1500 ppm of coagulant doses and at a stirring speed of 200 rpm; With average removal percentages of 85.87% sulfides and 98.50% suspended solids.

Therefore, it is concluded that the coagulation process is able to remove sulphides and suspended solids from the waste water of the pelambre stage, Inversiones Harod S.A.C.

KEYWORDS: Effluent, Coagulation, Dose, agitation, pH.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

Las empresas dedicadas a la producción de cuero, a nivel nacional, en el proceso de pelambre constituye el área de mayor preocupación como es el alto contenido de sulfuros y sólidos suspendidos que se generan en dicha etapa. Las pequeñas y micro empresas de curtiembres optan por obviar los pasos altamente contaminantes en la producción de pelambre y para evitar altos costos de producción, sin darse cuenta del grado de contaminación que se da a largo plazo y corto plazo; dicha contaminación se podría controlar y así, seguir generando empleo en las diferentes etapas como son curtido, recurtido y acabado. (STUART MILLER et al, 1999)

En la ciudad de Trujillo las operaciones y procesos de las curtiembres generan residuos líquidos, sólidos y gaseosos. El mayor impacto negativo se da en los efluentes líquidos en área de ribera (etapa de pelambre), que está generando la fabricación de cuero en las industrias de curtiembre; esta fase se caracteriza por contener cantidades significativas de contaminantes. Los efluentes líquidos presentan altos valores de pH, fuerte contenido de sulfuros y sólidos suspendidos generados durante el proceso, de esta manera cuando las aguas con presencia de contaminantes son descargadas sin un previo tratamiento a un cuerpo de agua trae efectos negativos para los seres vivos que habitan ahí y para otro uso que se realice más adelante. Es inapropiado para el consumo o para regadíos de sembríos cuando un cuerpo de agua contiene contaminantes. (Pinedo, 2012)

La curtiembre “INVERSIONES HAROD S.A.C.” está implementando una planta de tratamiento para aguas residuales; pero en la actualidad la curtiembre no es inmune a la problemática que se da por los residuos líquidos generados en sus diferentes etapas de producción, en la etapa de pelambre se genera gran cantidad de carga tóxica, ya que en esta etapa se utiliza sulfuro de sodio y gran volumen de agua; estos contaminantes no presentan ningún tratamiento y al ser desechados al sistema de alcantarillado trae como consecuencia el deterioro de las tuberías de

cemento. También se puede producir sulfuro de hidrogeno al combinar los compuestos sulfurados con las aguas residuales ácidas o neutras presentes en el alcantarillado; hay presencia de sólidos suspendidos en las descargas de líquidos y de los restos de pieles de la etapa de pelambre, se sedimentan y se depositan en los cuerpos hídricos donde se descargan, provocando malos olores y un ambiente inadecuado; esto causa daño a los población aledaña, trabajadores y al ambiente.

En tal sentido la presente tesis está orientado en remover sulfuros y solidos suspendidos a través de la dosificación de sulfato de alúmina, velocidad de agitación y pH para ellos se aplicó un test de jarras en laboratorio

1.2. Trabajos Previos:

Según CARRERA, Grecia. & INFANTE, Evelyn. (Trujillo 2015), Realizaron un tratamiento para aguas de una papelera para remover turbidez, SS y DQO; se determinaron mediante el método de prueba de jarras cual permite determinar la dosis óptima de coagulante y pH. Los resultados para un buen resultado en la coagulación, es el original de pH optimo (pH= 4.01) a una concentración de 5000 ppm de sulfato de aluminio con 4 ppm de floculante catiónico; que disminuye en 98.9% los sólidos suspendidos, 91.1% de demanda química de oxígeno y 95.1% la turbidez del efluente proveniente del Lavado de Pulpa de la Papelera TRUPAL S.A.

Según CHOWDHURY, Manjushree, [et al] (Bangladés, 2013) Realizó un tratamiento físico y químico de los procesos de filtración y coagulación de los efluentes de una curtiembre. Los resultados del análisis de los efluentes primas revelan que los efluentes eran de color pardo amarillento , que tiene un pH básico, valores muy altos de DBO5, DQO , TDS, TSS , TS y altas concentraciones de SO_4^{2-} y otros constituyentes orgánicos e inorgánicos, los efluentes filtrados fueron tratados con diferentes dosis de $FeCl_3$. El estudio observó que coagulante ($FeCl_3$) de 150 mg/ L pH casi neutro mostró los mejores rendimientos de eliminación de los principales parámetros físico-químicos. Los resultados del análisis muestran que la mayoría de los

parámetros físicos y químicos se encontraron muy por debajo de los límites permisibles establecidos para los efluentes descargados.

Según Daud Z. [et al.] (Malasia, 2015) investigaron la eficacia de los procesos de coagulación floculación en el tratamiento de agua residual de biodiesel, y cuyos resultados fueron 92%, 92%, 53% y 99% de remoción de sólidos suspendidos (SS), color, DQO, aceites y grasas respectivamente para la dosis óptima de 500 mg/L de Alumbre, demostrando la eficacia de la coagulación-floculación para el tratamiento de agua residual de biodiesel.

Según HAYDAR, Sajjad & ANWAR, Javed (Pakistán, 2009), Realizaron un estudio para tratar los residuos líquidos a través de curtiduría de coagulación-floculación-sedimentación. Sulfato de aluminio fue utilizado como coagulante con polímeros catiónicos y aniónicos, para ello se utilizó el aparato de prueba de jarras. Los resultados del estudio revelaron que la combinación de alumbre con el polímero catiónico elimina la turbidez del efluente del 97%, sólidos suspendidos totales del 93,5%, demanda química de oxígeno del 36,2%. La combinación de alumbre con polímero aniónico resultó en la eliminación de la turbidez del efluente de 99,7%, la eliminación de SS de 96,3%, la eliminación DQO de 48,3%. Concluye que el uso de polímeros catiónicos y aniónicos como floculante de la coagulación con alumbre es factible para el tratamiento de efluentes curtiduría

Según RODRIGUEZ, Carol. & ZAPATA, Cristina. (Trujillo 2015), Realizaron un tratamiento de aguas residuales de curtiembre correspondiente a dos de las sub-etapas del proceso de Rivera: remojo y pelambre, para ello se utilizó un test de jarras para realizar el proceso de coagulación-floculación. Los resultados obtenidos fueron para remojo la mejor dosis es 600mg/L de PAC en combinación con FC a pH 7,5 resultando en 79% de remoción de ST, 78% de remoción de SS, 79% de remoción de SD, 37% de remoción de SO_4^{2-} , 71% de remoción de DQO, 69% de remoción de DBO. Para el Pelambre la mejor dosis es 600mg/L de Alumbre en combinación con FC a pH 9 resultando en 67% de remoción de ST, 60% de

remoción de SS, 67% de remoción de SD, 75% de remoción de SO_4^{2-} , 51 % de remoción de DQO, 52% de remoción de DBO.

Según SHER, Farooq, [et al] (Inglaterra, 2013), En el presente estudio utilizó Sulfato de aluminio y poliacrilamida aniónica como coagulante y floculante, respectivamente. Para el ajuste de pH se utilizó una solución de cal; para el proceso de coagulación - floculación se utilizó un test de jarras para determinar una dosis óptima y diferentes pH para eliminar los contaminantes que afectan en el agua. En sus resultados que obtuvo eliminó porcentajes altos de DQO, SS, turbiedad. La eficiencia del proceso varió entre 10 y 98% en la eliminación de la DQO, entre 23 y 91% en la eliminación de sólidos en suspensión y entre 37% y 99% de reducción en la turbidez.

Según VERMA et al (India, 2010), Realizó un estudio sobre coagulación-floculación utilizando cloruro férrico, se investigó un pre-tratamiento para tratar las aguas industriales a través de una prueba de jarras; llegando a un resultado que la dosis óptima es 3000 mg/l de cloruro férrico se dosificó a pH 5,6 con 175 mg/l de poliacrimada catiónica para aguas que contienen DQO, En condiciones óptimas, la DQO de las aguas residuales se redujo en un 75,5%.

1.3. Teorías Relacionados al Tema

1.3.1. Marco teórico

- **Ubicación**

Inversiones HAROD S.A.C. se ubica en el Parque industrial de Trujillo, Manzana C3, Lotes 1, 18, 23, 24; esquina: calle 16, calle 3, y Avenida 2; en el distrito La Esperanza, Provincia de Trujillo; Región La Libertad,



Figura 1: Ubicación de la curtiembre Inversiones Harod S.A.C.

Fuente: Google Eart

- **La industria del cuero**

“En los diversos países del mundo la producción de cuero es una actividad de gran importancia para la economía; esta actividad está relacionado con el sector productivo de calzado y sector productivo de faenamiento de animales, especialmente bovinos. (Rodríguez y Zapata, 2015)

- **Actividad Productiva**

El material de partida para la preparación del cuero lo constituye la piel de los animales, Inversiones HAROD S.A.C trabaja con piel de ganado bovino. La transformación de la piel del animal a cuero, involucra una serie de etapas que determinaran la calidad del producto final. La planta tiene dos etapas, la etapa húmeda o de rivera y la etapa en seco o acabado; donde, a su vez el proceso productivo se divide en cuatro: Remojo y pelambre, curtición, recurtido y acabado, dentro de estos procesos se encuentran las actividades que se describen en el siguiente esquema.

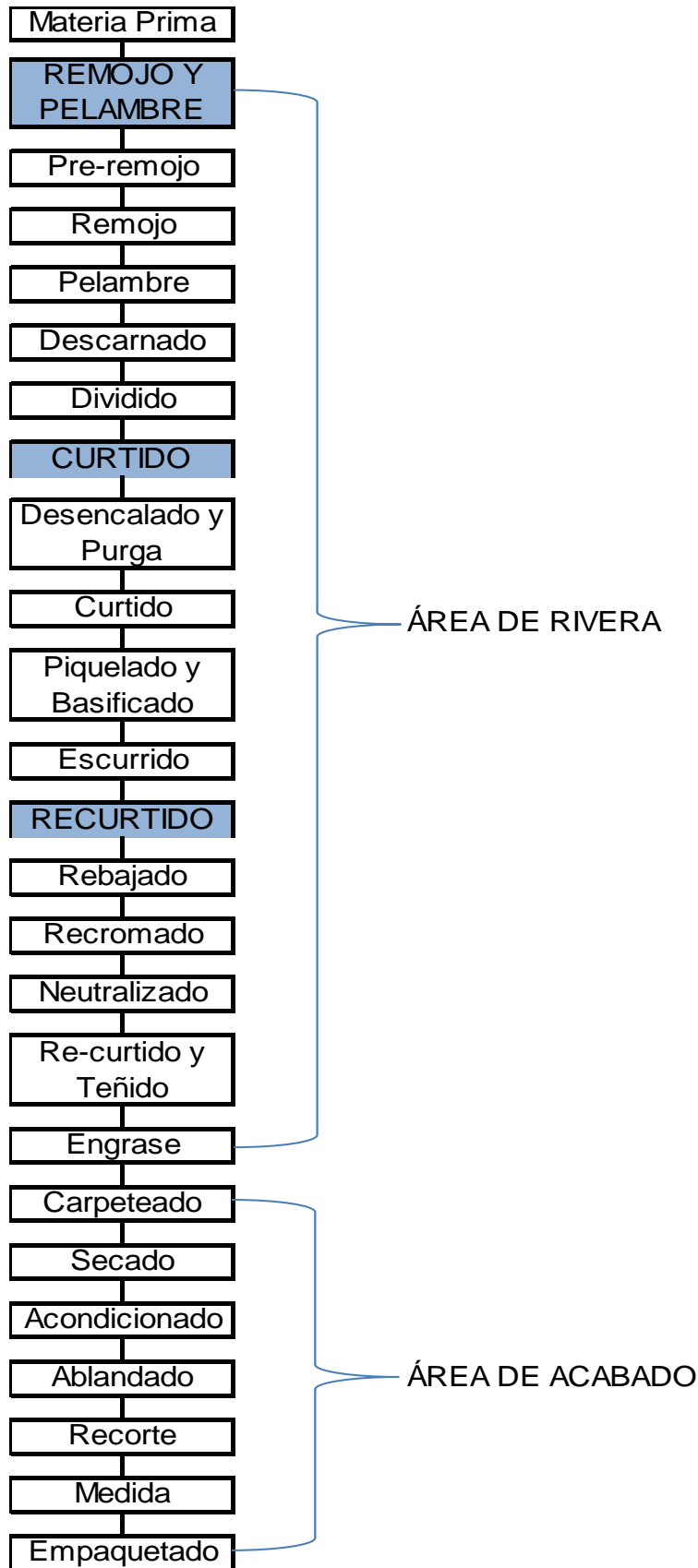


Figura 2: Esquema de la producción de cuero de la curtiembre INVERSIONES HAROD S.A.C.

- **Contaminación del agua:**

Durante la producción del cuero se descargan enormes cantidades de agua y contaminantes al alcantarillado. En la etapa de pelambre constituye un alto porcentaje de la contaminación total de una curtiembre, sus aguas residuales se caracterizan por un pH alcalino y la más alta cantidad de sólidos suspendidos. Estos sólidos suspendidos perjudican las características físicas del agua, causando mal olor y turbiedad del agua; el uso de sulfuro de sodio incrementa las consecuencias desfavorables sobre el ambiente. La descarga de estas sustancias químicas provoca sedimentos altamente contaminados, afectando adversamente el funcionamiento ecológico de los ríos y trabajadores que laboran en dicha empresa. (Dixit, 2015)

- **Valores Máximos Admisibles**

“Valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido en sus parámetros causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, tratamiento de aguas residuales y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales”. (DECRETO SUPREMO N° 001-2015-VIVIENDA)

Tabla 1: Valores máximos admisibles para descargas al alcantarillado

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T	500
Aceites y Grasas	mg/L	AyG	100
Cromo hexavalente	mg/L	Cr+6	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Sulfatos	mg/L	SO_4^{-2}	1000
Sulfuros	mg/L	S^{-2}	5
pH	unidad	pH	6 a 9
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	S.S	8.5

Fuente: D.S. N° 001-2015-VIVIENDA

- **Coagulación**

Desestabilización de las partículas y formación de pequeños flócs causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante; esta técnica son usados para realizar tratamientos a los efluentes industriales, y remover contaminantes y clarificación de aguas. Los coagulantes más usados son: sulfato de Alúmina, cloruro férrico, policloruro de aluminio, etc. (Andia, 2000)

Componentes que intervienen en la coagulación

- **pH.**

Variable más significativa que se debe de considerar en el momento de realizar el tratamiento, cada líquido tiene un nivel de pH eficiente donde la coagulación actúa muy rápido; para ello depende de las características del agua y del tipo de coagulante a utilizar; la dosis de coagulante será alta si el proceso de coagulación se realiza con otro nivel de pH que no es el óptimo. (Andia, 2000)

- **Dosis de coagulante:**

Esta variable se tiene que tener en cuenta ya que influye directamente en la eficacia de la coagulación; al introducir menor cantidad la carga de la partícula no se neutraliza por completo, la formación de los flócs es muy escasa, por consecuencia su turbiedad es alta; a mayor cantidad produce la alteración de la carga de la partícula. Por lo tanto conlleva a la formación de gran cantidad de flócs con tamaños muy pequeños, donde su velocidad para su sedimentación es muy baja, por lo que resulta con turbiedad alta. (Andia, 2000)

- **Mezcla:**

En el tratamiento de coagulación y floculación, se realiza la mezcla de reactivos químicos en dos fases. En la primera fase, la duración es corta de 60 segundos como máximo y es enérgica, llamada mezcla rápida; teniendo como objetivo esparcir toda la dosis de coagulante

dentro del volumen de agua que se desea tratar, y como segunda fase tiene como objetivo desarrollar microflóculos y es llamada como mezcla lenta. (Andia, 2000)

- **Turbidez:**

Es un método que se realiza de manera indirecta midiendo la concentración de las partículas en suspensión del agua; Cada turbiedad tiene una cantidad de coagulante, para la obtención de una turbiedad más baja, la que resulta como la dosis eficiente. A mayor turbiedad se debe agregar menor cantidad de coagulante, debido a que la posibilidad de colisión entre las partículas es muy alta; por lo que se realiza con mayor facilidad; por el inverso cuando es baja se realiza de manera difícil y la dosis del coagulante es mayor o igual cuando la turbiedad estuviese alta. Se debe de realizar una pre-sedimentación ya fuese natural o forzada cuando la turbiedad es muy elevada, se debe de utilizar en este caso en un polielectrolito aniónico. (Andia, 2000)

- **Floculación:**

Se consigue agregar las partículas coloidales desestabilizadas (aunque no es necesario que fuesen ex-coloides). La agregación se ve facilitada si las partículas se ponen en contacto y si hay algo que cree enlaces entre ellas y mantenga ese contacto. Lo primero se consigue mediante la mezcla y lo segundo mediante la adición de floculantes. El proceso de formación de enlaces y agregados es lento, se llegan a adoptar tiempos que van desde 10 a 30 minutos. (Siah, 2014 pg. 10)

Entre los diferentes tipos de floculantes se pueden citar:

- **Polielectrolitos:** Son polímeros orgánicos con carga eléctrica. Inicialmente se utilizaron los de origen natural, como almidón, celulosa, gomas de polisacáridos, etc. Pueden actuar solos o como coadyuvantes para floculación. (Siah, 2014)

- Aniónicos: carga negativa.
- Catiónicos: carga positiva.

- **Ajuste de pH:**
Se trata de elevar o disminuir el pH utilizando la dosificación de productos químicos en el agua, para determinar un pH óptimo; para ello se añade reactivos como el Ácido fosfórico, etc. (Marín, 2012)

- **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. El test de jarras puede llevarse a cabo para seleccionar cada uno de lo siguiente: tipo de coagulante, dosis de coagulante, floculante y su dosis, pH óptimo de operación, secuencia de adición de químicos, energía y tiempo de mezclado óptimo para un mezclado rápido, energía y tiempo de mezclado óptimo para un mezclado lento” (Marín, 2012)

Para realizar un test de jarras se debe de conocer el tipo de coagulante y floculante con su respectiva dosificación, se debe de tener la muestra un pH óptimo, energía, velocidad, tiempo de agitación y la secuencia para realizar el proceso de un test de jarras.

1.3.2. Marco Conceptual:

- **Pelambre:**
Etapa de la producción del cuero, que tiene como finalidad depilar las pieles de los animales utilizando gran volumen de agua, sulfuros, cal y taninos preparándolo así apropiadamente para la etapa de curtido para seguir con su proceso.(Campos, 2013)

- **Sulfuros:**

Son combinaciones de compuestos que se encuentran formados por azufre, estos sulfuros son muy tóxicos para las personas ya sea por inhalación o indigestión; en las empresas de curtiduría se está utilizando el sulfuro de sodio para depilar las pieles de los animales y los efluentes descargados contienen alta carga tóxica que es muy perjudicial para el ambiente y para los trabajadores que laboran en dicha empresa. (Campos, 2013)
- **Sólidos suspendidos:**

“Son partículas que el agua lo conserva en suspensión Cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en ppm, partes por millón”. (Andía, 2000, pg. 06)
- **Remoción:**

Se utiliza para hacer referencia a todo aquel acto que tenga que ver con quitar algo de su lugar; para el presente proyecto se utilizará alúmina para remover sulfuros y sólidos suspendidos de la etapa de pelambre de una empresa curtidora. (Chowdhury, 2013)
- **Sulfato de alúmina:**

“Es un coagulante tradicional muy ampliamente utilizado por su bajo costo, fácil uso, manejo y almacenamiento, para tratamiento de aguas residuales de la producción de cuero, ya que logra remover altos porcentajes de contaminantes que están presentes en el agua” (Rodríguez & Zapata, 2015)
- **Floculante aniónico:**

Con carga eléctrica negativa, ayudan a la aglomeración de los microflóculos para que se formen flocs más grandes y tiendan a depositarse en el recipiente. (Rodríguez & Zapata, 2015)

- **Dosis de coagulante:**
La cantidad del coagulante eficiente a utilizar para la remoción de contaminantes presentes en el agua que se desea tratar (Andia, 2000).
- **Velocidad de agitación:**
Velocidad al forzar el agua al interior de un depósito para que obtenga movimientos circulatorios, y así remover un alto porcentaje de los contaminantes presentes en el agua. (Sánchez, 2007)
- **pH:**
Indicador de las condiciones ácidas y básicas de agua y es unas medidas estables. (Haydar & Anwar, 2009)

1.4. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto del coagulante de alúmina en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de pelambre, INVERSIONES HAROD S.A.C.?

1.5. Justificación del estudio

Según las investigaciones dadas la principal fuente de contaminación se da en la etapa de pelambre ya que en esta etapa se utiliza 8m³ de agua para 300 pieles, 75 kg se sulfuro de sodio dependiendo del peso de las pieles; sus efluentes contienen gran cantidad de carga tóxica de sulfuro y sólidos suspendidos que genera tres numerosos problemas tanto para la vida acuática de los ríos como para el ambiente propio de trabajo y la salud de los trabajadores. Por tal motivo se consideró importante establecer una tecnología apropiada para remover sulfuros y sólidos suspendidos provenientes de los efluentes de la etapa de pelambre, para remover estos contaminantes se aplicó un test de jarras para poder determinar una adecuada dosificación de coagulante, velocidad de agitación y pH; contribuyendo de esta forma disminuir el grave impacto que estos efluentes causan y que la empresa tenga menor costo de producción. Al aplicar esta

tecnología proporcionó una herramienta útil para darle un tratamiento a estas aguas y poder obtener una oportunidad de reutilizarlo, teniendo así un ambiente adecuado para el bienestar de los trabajadores que laboran en dicha planta.

1.6. Hipótesis

El proceso de coagulación con alúmina remueve los sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de la etapa de pelambre generado por Inversiones HAROD S.A.C.

1.7. Objetivos

1.7.1. General

Determinar el efecto del coagulante de Alúmina en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de pelambre, INVERSIONES HAROD S.A.C., a nivel de Laboratorio.

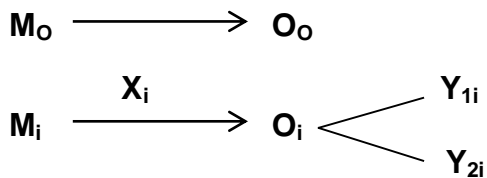
1.7.2. Específicos:

- Determinar el nivel de dosis de coagulante para una eficiente remoción de sulfuros y sólidos suspendidos.
- Determinar el nivel de velocidad de agitación para una eficiente remoción de sulfuros y sólidos suspendidos
- Establecer un nivel de pH para una eficiente remoción de sulfuros y sólidos suspendidos

II. METODOLOGIA

2.1. Diseño de Investigación

Diseño experimental unifactorial MANOVA a tres niveles: pH (11, 10, 9), Dosis de coagulante (1300, 1400, 1500 ppm), y Velocidad de agitación (200, 300 rpm).



X_i : coagulante Alúmina

Y_{1i} : Remoción de sulfuros

Y_{2i} : Remoción de sólidos suspendidos

Tabla 2: *Diseño Experimental con pH, dosis de coagulante y velocidad de agitación*

pH	pH 9		pH 10		pH 11		N° Repeti ciones
Velocidad de agitación	V ₁ 100 rpm	V ₂ 200 rpm	V ₁ 100 rpm	V ₂ 200 rpm	V ₁ 100 rpm	V ₂ 200 rpm	
Dosis							
D1: 1300 ppm	D ₁ V ₁ pH9	D ₁ V ₂ pH9	D ₁ V ₁ pH10	D ₁ V ₂ pH10	D ₁ V ₁ pH11	D ₁ V ₂ pH11	3
D2 1400 ppm	D ₂ V ₁ pH9	D ₂ V ₂ pH9	D ₂ V ₁ pH10	D ₂ V ₂ pH10	D ₂ V ₁ pH11	D ₂ V ₂ pH11	
D3 1500 ppm	D ₃ V ₁ pH9	D ₃ V ₂ pH9	D ₃ V ₁ pH10	D ₃ V ₂ pH10	D ₃ V ₁ pH11	D ₃ V ₂ pH11	

Fuente: Propia

2.2. Variables y Operacionalización de variables

2.2.1. Variables independientes:

- Coagulante Alúmina

2.2.2. Variables dependiente:

- Remoción de sulfuros
- Remoción de sólidos suspendidos

2.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 3: Operacionalización de variables.

Variables	Subvariables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de Medición
Coagulante Alúmina	Dosis de coagulante de Alúmina	cantidad de coagulante eficiente a utilizar para la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos (Andía, 2000)	Se preparó 3 dosis de coagulante de la Alúmina (1300, 1400, 1500 mg). Medidas en una balanza analítica.	Cantidad de coagulante de la alúmina (mg)	Razón
	Velocidad de Agitación	Velocidad al forzar el agua al interior de un depósito para que obtenga movimientos circulatorios (Sánchez, 2007)	Velocidad de Agitación a 2 diferentes revoluciones por minuto (200 y 300 para el coagulante) y 40 para floculante, medido en el test de jarras	Velocidad eficiente para remover los sulfuros y sólidos suspendidos (rpm)	Razón
	pH	Indicador de las condiciones ácidas y básicas de agua y es unas medidas estables. (Haydar & Anwar, 2009)	Se evaluó a tres pH: 11, 10 y 9 para determinar un pH óptimo para sulfato de alúmina, medido con un pH-Metro	Ácido Neutro Básico	Razón
Remoción de sulfuros	Porcentaje de sulfuro removido después del tratamiento de coagulación. (Rodríguez y Zapata, 2015)		Se determinó con el método de Volumétrico con la siguiente fórmula $\frac{[] S^{2-}ini. - [] S^{2-}rem.}{[] S^{2-}inicial} * 100$	% de remoción de sulfuros	Razón
Remoción de sólidos suspendidos	Porcentaje de sólidos suspendidos removidos después del tratamiento de coagulación. (Rodríguez y Zapata, 2015)		Se determinó con el método de Gravimétrico con la siguiente fórmula $\frac{[] SS ini. - [] SS rem.}{[] SS inicial} * 100$	% de remoción de sólidos suspendidos	Razón

2.3. Población, Muestra

2.3.1. Población

Efluente de 8 m³ proveniente de la etapa de pelambre de la producción de cuero de la curtiembre INVERSIONES HARDO S.A.C. Ubicada en el parque industrial, Distrito de la Esperanza – Trujillo.

2.3.2. Muestra

La muestra se obtuvo mediante un muestreo aleatorio simple, 28 litros del efluente del botal de la etapa de pelambre de la curtiembre INVERSIONES HAROD S.A.C.

2.3.3. Unidad de análisis

Se utilizó 500 mL de efluente por cada análisis para remover sulfuros y sólidos suspendidos, donde se utilizó un test de jarra y se trabajó a nivel de laboratorio.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas e instrumentos:

Para la recolección de datos se utilizó los instrumentos de medición, análisis de documentos, Se realizó un muestreo aleatorio simple para la recolección de la muestra; para el desarrollo experimental se utilizó un test de jarras para obtener una dosis adecuada, velocidad de agitación y pH para remover los contaminantes presentes en el efluente de la etapa de pelambre.

Tabla 4: Parámetros Físicoquímicos a analizar en el efluente de la etapa de pelambre

Parámetro	Método
S ²⁻	Volumétrico
pH	Potenciométrico
Sólidos Suspendidos (mg/L)	Gravimetría
Sólidos totales (mg/L)	Gravimetría
Sólidos Disueltos (mg/L)	Gravimetría
Turbiedad	Espectrofotómetro

Fuente: Propia

2.4.2. Equipos e Instrumentos

Tabla 5: Equipos e Instrumentos

Equipos e Instrumentos	Materiales	Reactivos	Insumos Químicos
- Balanza Analítica digital calibrada.	- 03 Pipetas de 1 mL, 5mL, 10 mL.	- Agua Residual	- Sulfato de Aluminio.
- pH – metro	- 04 Probetas de 100 mL.	- Solución estándar de Tiosulfato de sodio 0.0250 N.	- Floculante Aniónico (FA)
- Test de jarras	- 01 Bureta de 50 mL.	- Solución de Almidón	- Ácido Fosfórico.
- Estufa	- 03 Matraz de Erlenmeyer de 500 mL.	- Solución de yodo 0.0250 N.	
- Espectrofotómetro UV/VIS.	- 06 Fiolas de 1000 y 500 mL.		
- Desecador	- 10 Celdas de vidrio		
- Conductímetro	- bureta		
	- 02 Pissetas		
	- 40 Papel Filtro cualitativo - Whatman 5 (2.5µm).		

Fuente: Propia

2.4.3. Validez y Confiabilidad de Datos

Los instrumentos antes de ser utilizados se garantizaron que estén previamente calibrados, se tomó como referencia por los lineamientos de la norma ISO/IEC 17025 donde indica el buen funcionamiento de los equipos e instrumentos; para ejecutar la parte experimental y recolección de datos

Tabla 6: Normas Peruanas para calibración de equipos

INSTRUMENTO	CALIBRACIÓN
pH-Metro	Norma metrológica Peruana 009.18.1999
Balanza analítica	Norma Peruana 003: 2009
Test de jarras	Es programado al momento de iniciar a utilizarlo y configurar a las revoluciones deseadas

Fuente: Propia

2.4.4. Métodos de análisis de datos

- **Desarrollo metodológico:**

Recolección de la muestra:

La muestra se realizó en las instalaciones de la curtiembre INVERSIONES HAROD S.A.C., efluente proveniente del botal de la etapa de pelambre, la muestra se pasó por una malla de N°60 (0.250 mm); y se recolectó en botellas de 1 litro para después ser llevados a Laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo y ser almacenados en un lugar a 4°C, las botellas fueron debidamente etiquetadas, esterilizadas y enjuagadas con la misma muestra para que no se altere los datos.

Descripción de la experimentación:

Etapas 1. Determinación de los parámetros físicos-químicos de la muestra

Al inicio y al final se realizó un análisis con el fin de establecer los niveles de contaminación del agua residual de la etapa de pelambre de la curtiembre Inversiones HAROD S.A.C. La muestra se tomó en el escurrido de un botal. La determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizó a través de los métodos expresados en la tabla N° 4.

Etapas 2. Proceso de test de jarras

Antes de realizar el tratamiento de coagulación el pH se ajustó a pH (11, 10, 9).

Teniendo el pH se analizó la concentración en donde se desenvuelve mejor, la dosificación de coagulante y velocidad de agitación se utilizó intervalos cercanos de la concentración y velocidad óptima de acuerdo a trabajos previos que se han hecho; para ellos se debe de seguir el siguiente procedimiento.

- Cada envase del test de jarras se agregó 500 mL de muestra ajustada a pH a11, 10,9 y se colocó en el equipo.

- Se aplicó la dosis de coagulante de (1300, 1400, 1500 mg/L) a velocidades de (100 y 200 rpm) para cada análisis.
 - Se dejó en reposo la muestra por 5 min
 - Se agregó el floculante de 20 mg/L y se agitó la muestra a 40 rpm por 5 min
 - Después de terminar el proceso se dejó sedimentar para proceder con los análisis de sulfuros y SS.
- **Para análisis de datos**
Para el análisis de datos se utilizó el Método estadístico MANOVA, para comparar las varianzas de los resultados obtenidas del test de jarras en laboratorio y para contrastar la hipótesis. Los datos se procesaron con el software estadístico SPSS v.23

2.5. Aspectos éticos

En el presente proyecto de investigación se utilizó equipos e instrumentos calibrados para la obtención de resultados confiables, se respetó la propiedad intelectual expresado por los autores citándolos correctamente en conceptos, trabajos previos; Al momento de ejecutar el proyecto se respetó el ambiente y el cuidando de los recursos naturales

III. RESULTADOS

Según antecedentes en primer lugar se debe determinar las principales características fisicoquímicas de la muestra del efluente de la etapa de pelambre; ya que éstas influyen directamente en el proceso propuesto, y determinar si cumplen con los valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de las aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (D.S. N° 001- 2015-VIVIENDA),

Tabla 7: Características fisicoquímicas de la muestra de agua residual de la etapa de pelambre, y su comparación con los valores máximos admisibles

PARÁMETROS	UNIDAD	PELAMBRE	V.M.A.*
pH	Unid. pH	12.2	6.9 a 9.0
Turbidez	NTU	1 998.5	
Sólidos suspendidos	mg/L	2 213	500
Sólidos disueltos	mg/L	20 928	
Sólidos totales	mg/L	31 998	
Sulfuros	mg/L	1 244.9	5
Conductividad	mS	25	

Fuente: Propia

* D.S N° 001- 2015-VIVIENDA

En la tabla 7 se muestra las características fisicoquímicas del efluente de la etapa de pelambre de la curtiembre Inversiones Harod S.A.C. , los cuales al ser comparados con los valores máximo admisibles (VMA) sobrepasa los parámetros en especial los sólidos suspendidos (S.S.) y sulfuros (S^{2-}), parámetros en estudio, con valores de 2 213ppm y 1 244.9 respectivamente.

La determinación de la concentración inicial de sulfuros y sólidos suspendidos se determinó por el método de volumetría y Gravimetría respectivamente, a ésta muestra se realizó tres repeticiones para todos los tratamientos, basándose en el diseño unifactorial; para obtener al final el porcentaje de remoción de cada tratamiento. A continuación en la tabla 8 se presenta el porcentaje de remoción de las tres repeticiones por cada tratamiento.

Tabla 8: Porcentajes promedio de remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre.

PORCENTAJE PROMEDIO DE REMOCIÓN

Tratamiento	pH	Velocidad de agitación (rpm)	Dosis de coagulante (ppm)	% de Remoción	
				Sulfuros	Sólidos suspendidos
1	pH 9	100	1300	77.05	91.78
2			1400	79.89	91.85
3			1500	80.63	97.37
4		200	1300	74.25	93.56
5			1400	78.86	94.22
6			1500	85.87	98.5
7	pH 10	100	1300	70.27	81.37
8			1400	69.06	87.64
9			1500	75.61	95.86
10		200	1300	74.04	85.58
11			1400	75.45	90.06
12			1500	83.65	96.28
13	pH 11	100	1300	59.07	74.27
14			1400	62.72	80.68
15			1500	71.06	85.93
16		200	1300	65.91	80.37
17			1400	69.53	82.88
18			1500	79.12	89.25

* [] inicial de sulfuros: 1 244.9 ppm

* [] inicial de sólidos suspendidos: 2 213 ppm

* t: 5 min

* Dosis de floculante: 20 ppm

* Velocidad de Agitación de Floculante: 40rpm

Fuente: Propia

En la tabla 8 se muestra el porcentaje promedio de remoción de cada tratamiento de las tablas 17, 18 y 19, también se visualiza la interacción entre los niveles: pH, velocidad de agitación (rpm) y Dosis de coagulante (ppm), la concentración inicial de sulfuros fue de 1 244.9 ppm y de los sólidos suspendidos fue de 2 213 ppm.

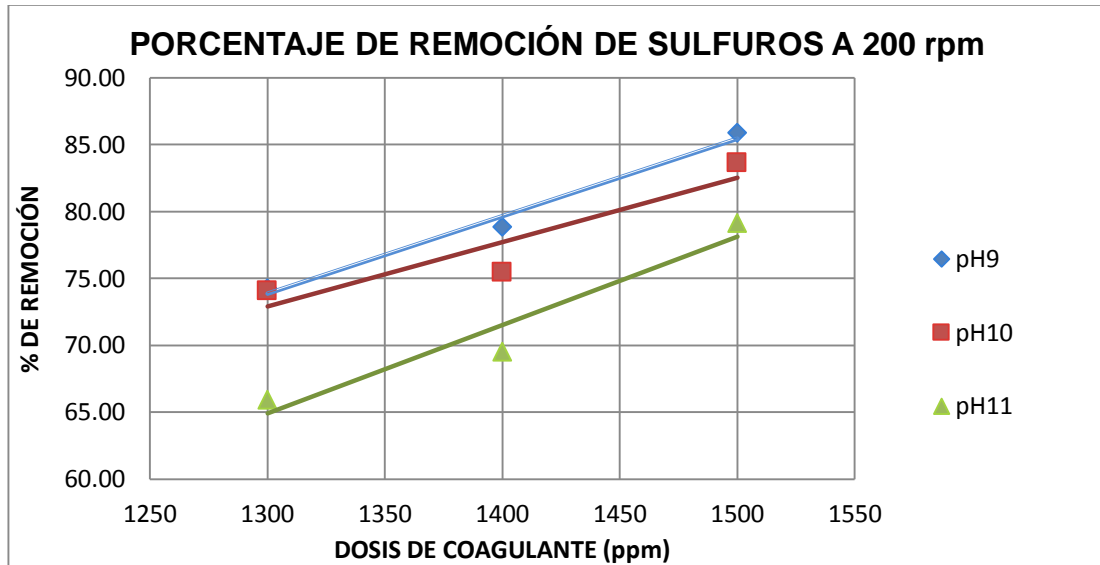


Figura 3: Dosis de coagulante alúmina en función de remoción de sulfuros a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 200 rpm.

En la figura 3 se observa tratamientos a diferentes pH (9, 10 y 11) y dosis de coagulante de alúmina (1300, 1400 y 1500 ppm) a una velocidad de agitación de 200 rpm en la disminución de sulfuros, determinándose que el mayor porcentaje de remoción de 85,87% se obtuvo con un pH de 9 y una dosis de coagulante de 1500 ppm. Alúmina. Además se observa que la menor remoción (65,91%) se obtiene con el tratamiento a un pH 11 y dosis de coagulante de 1300 ppm.

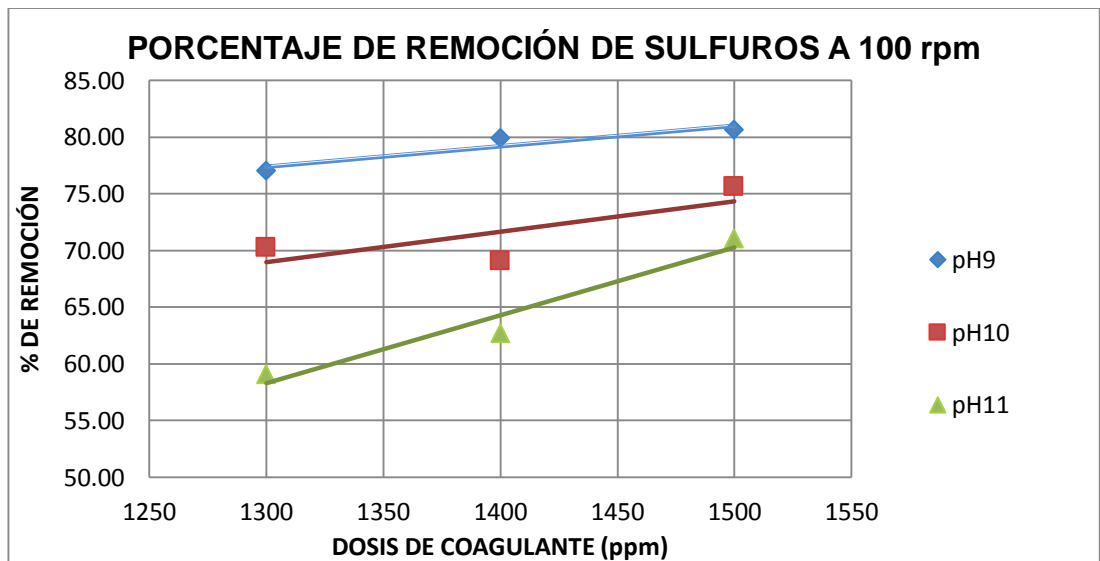


Figura 4: Dosis de coagulante en función de remoción de sulfuros a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 100 rpm.

En la figura 4 se observa tratamientos a diferentes pH (9, 10 y 11) y dosis de coagulante de alúmina (1300, 1400 y 1500 ppm) a una velocidad de agitación de 100 rpm en la disminución de sulfuros, determinándose que el mayor porcentaje de remoción de 80,63% se obtuvo con un pH de 9 y una dosis de coagulante de 1500 ppm.

Además se observa que la menor remoción (59,07%) se obtiene con el tratamiento a un pH 11 y dosis de coagulante de 1300 ppm.

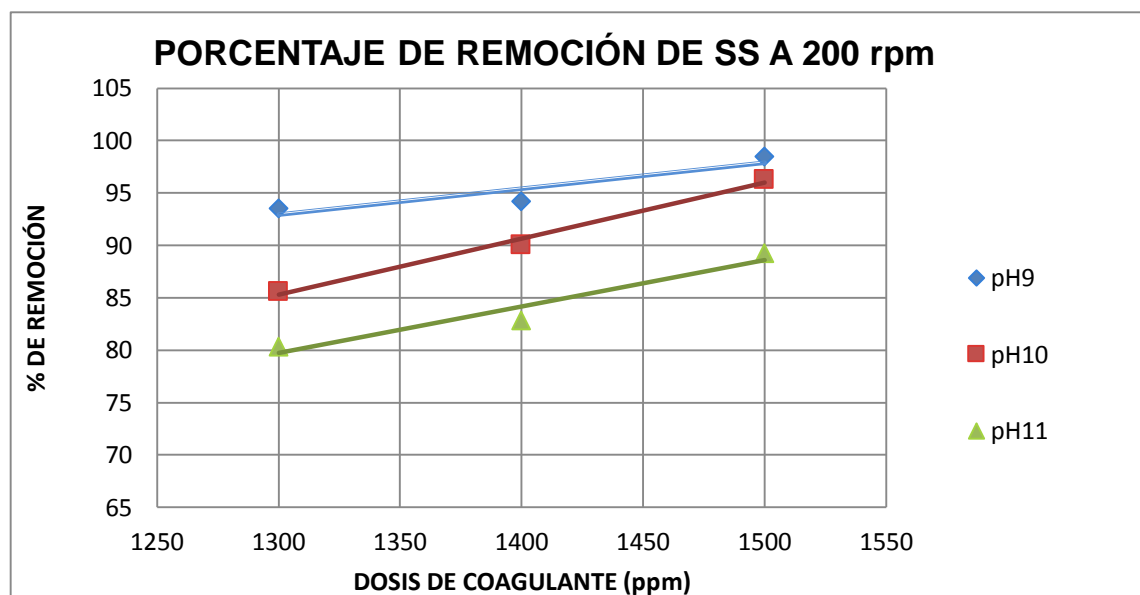


Figura 5: Dosis de coagulante en función de remoción de sólidos suspendidos a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 200 rpm.

En la figura 5 se observa tratamientos a diferentes pH (9, 10 y 11) y dosis de coagulante de alúmina (1300, 1400 y 1500 ppm) a una velocidad de agitación de 200 rpm en la disminución de sólidos suspendidos, determinándose que el mayor porcentaje de remoción de 98,50% se obtuvo con un pH de 9 y una dosis de coagulante de 1500 ppm.

Además se observa que la menor remoción (80,37%) se obtiene con el tratamiento a un pH 11 y dosis de coagulante de 1300 ppm.

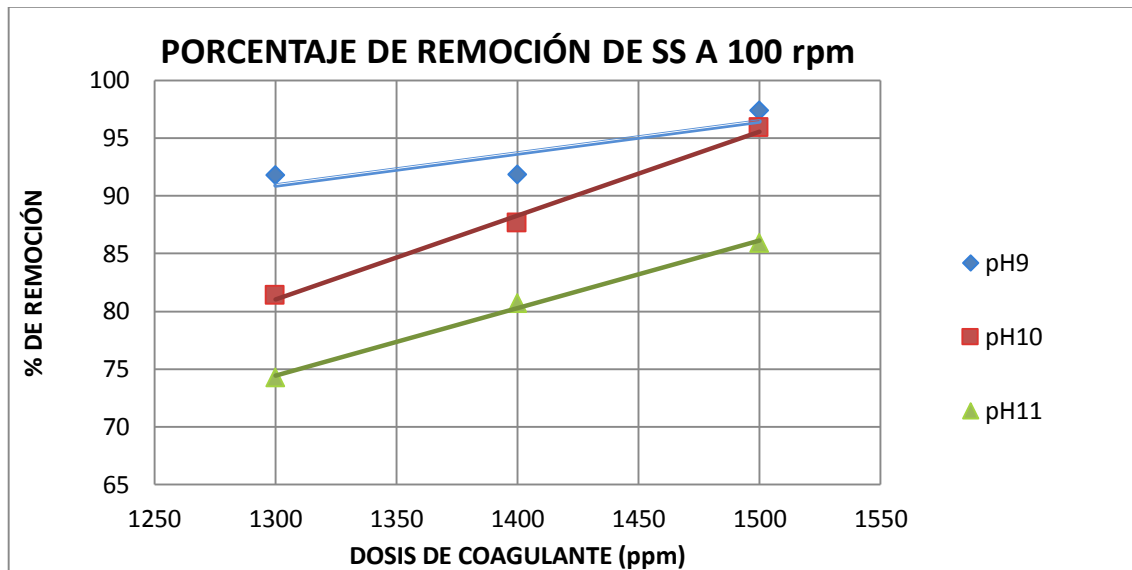


Figura 6: Dosis de coagulante en función de remoción de sólidos suspendidos a pH (9, 10 y 11) a una velocidad de agitación de 100 rpm.

En la figura 6 se observa tratamientos a diferentes pH (9, 10 y 11) y dosis de coagulante (1300, 1400 y 1500 ppm) a una velocidad de agitación de 100 rpm en la disminución de Sólidos suspendidos, determinándose que el mayor porcentaje de remoción de 97,37% se obtuvo con un pH de 9 y una dosis de coagulante de 1500 ppm.

Tabla 9: Análisis estadístico

Pruebas multivariante ^a						
Efecto		Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.
pH	Traza de Pillai	,916	15,202	4,000	72,000	,000
	Lambda de Wilks	,084	42,782 ^b	4,000	70,000	,000
	Traza de Hotelling	10,866	92,358	4,000	68,000	,000
	Raíz mayor de Roy	10,866	195,582 ^c	2,000	36,000	,000
Velocidadagitación	Traza de Pillai	,489	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
	Lambda de Wilks	,511	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
	Traza de Hotelling	,956	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
	Raíz mayor de Roy	,956	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
Dosiscoagulante	Traza de Pillai	,881	14,179	4,000	72,000	,000
	Lambda de Wilks	,133	30,569 ^b	4,000	70,000	,000
	Traza de Hotelling	6,441	54,748	4,000	68,000	,000
	Raíz mayor de Roy	6,425	115,645 ^c	2,000	36,000	,000
	Traza de Hotelling	,123	,524	8,000	68,000	,834
	Raíz mayor de Roy	,085	,764 ^c	4,000	36,000	,555

Fuente: Propia

Como se puede observar, tanto el pH, velocidad de agitación y dosis coagulante tienen efectos altamente significativos con $P < 0.01$ en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos, con un nivel de confianza del 99%

IV. DISCUSIÓN:

En la Tabla N° 7, se registra los parámetros fisicoquímicos que caracterizan a la muestra en estudio, agua residual de la etapa de pelambre, como se puede observar sobrepasa los parámetros de acuerdo a los valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de las aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (D.S. N° 001- 2015-VIVIENDA), en especial los sólidos suspendidos (S.S.) y sulfuros (S^{2-}), parámetros en estudio. Los sulfuros se encuentra en un nivel de 1 244,9 mg/L, muy superior al valor máximo admisible de 5 mg/L; de manera similar sucede con los sólidos suspendidos con un valor de 2 213 mg/L, mayor a 500 mg/L.

También se determinó que el agua presenta un pH básico cuyo valor fue 12,0 comparando con el rango permisible de 6,9 a 9,0.

El resultado de la concentración inicial de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de pelambre se obtuvo usando el método de volumetría y Gravimetría respectivamente, **ver anexo A**, teniendo como resultado una concentración de 1 244.9 ppm de S^{2-} y 2 213ppm de SS. Esto confirma la teoría expuesta por (Dixit, 2015), quien menciona que la etapa de pelambre producen elevadas concentraciones de sulfuros y sólidos suspendidos, afectando la salud y alterando el ambiente.

En la tabla N° 8 se reportan los resultados obtenidos en los 18 tratamientos los cuales se trabajó a diferentes valores de pH: 9, 10 y 11; una velocidad de agitación de 100 y 200 rpm y dosis de coagulante de 1300, 1400 y 1500 ppm de alúmina. De acuerdo a estos tratamientos se observa que los porcentajes promedio de mayor remoción de sulfuro y sólidos suspendidos se obtienen en el tratamiento 6, con una dosis de coagulante de 1500 ppm, pH de 9 y a una velocidad de agitación de 200 rpm, obteniéndose una remoción de 85,87 % de sulfuros y una remoción del 98,50 % de sólidos suspendidos. Además se observa que la menor remoción de sulfuros (59,07%) y de sólidos suspendidos (74,27%) se obtiene en el tratamiento 13, esto con una dosis de coagulante de 1300 ppm, pH 11 y con una velocidad de 100 rpm; esto va de acuerdo con la teoría propuesta según (Rodríguez & Zapata, 2015) en la que a pH 9 se obtiene una mayor remoción en la concentración de sulfuros y

sólidos suspendidos, consiguiendo porcentajes de remoción de 75% de sulfuros y un 60% de remoción de sólidos suspendidos. Según Haydar & Anwar (2009), también indican que a pH 9, y una mezcla de coagulante con floculante aniónico se remueve mayor cantidad de sólidos suspendidos a un porcentaje de 99.7 % y que esta combinación tiene como beneficio de reducir en casi un 50% del costo químico por metro cúbico de tratamiento de aguas residuales.

De este modo las figuras 1 y 3 muestran resultados con una tendencia creciente de remoción de sulfuros y sólidos suspendidos conforme aumenta la dosis de coagulante alúmina a pH 9, con una velocidad de 200rpm; también se observa que la tendencia de la dosis de coagulante de 1300 ppm a un pH 11 tiende a ser menor. Al igual que (Carrera & Infante, 2015). Indican que el coagulante Alúmina logró remover 98.9% de S.S., y mejoró la pureza y la deshidratación de la capacidad de los lodos.

Las figuras 2 y 4, para una velocidad de agitación de 100 rpm muestra de igual manera resultados con una tendencia creciente ya que conforme aumenta la dosis de coagulante alúmina, a un pH 9 remueve altos porcentajes de sulfuros y sólidos suspendidos, también se observa que la tendencia de la dosis de coagulante de 1300 ppm a un pH 11 tiende a ser menor. De igual manera (Haydar & Anwar, 2009), mencionan que el uso de polímeros catiónicos y aniónicos como floculante de la coagulación con alumbre es factible para el tratamiento de efluentes curtiduría

En la tabla 9 se realizó el análisis de varianza, para ello se aplicó la prueba multivariante para ver el efecto de las dosis, pH, velocidad de agitación y la en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos.

Se puede observar, tanto el pH, velocidad de agitación y dosis coagulante tienen efectos altamente significativos con $P < 0.01$ en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos, con un nivel de confianza del 99%

V. CONCLUSIONES:

- Se concluye que en el tratamiento de las muestras de agua obtenidas del efluente de la etapa de pelambre generado por la curtiembre Inversiones Harod S.A.C., la mayor remoción de sólidos suspendidos (S.S.) y sulfuros (S^{2-}) se obtuvo con el tratamiento que presentó un pH 9, una dosis de coagulante de alúmina de 1500 ppm y a una velocidad de agitación de 200 rpm; con porcentajes de remoción promedio de 85,87 % de sulfuros (S^{2-}) y 98,50% de sólidos suspendidos (S.S.).
- Se concluye que la menor remoción de sólidos suspendidos (S.S.) se obtuvo con el tratamiento que presentó un pH 11, una dosis de coagulante de alúmina de 1300 ppm y a una velocidad de agitación de 100 rpm; con porcentajes de remoción promedio de 74,27%; y la menor remoción de sulfuros (S^{2-}) se obtuvo con el tratamiento que presentó un pH 11, una dosis de coagulante de alúmina de 1300 ppm y a una velocidad de agitación de 100 rpm; con porcentajes de remoción promedio de 59,07%.
- El pH, dosis de coagulante y velocidad de agitación son variables importantes porque depende de una eficiente interacción de estos niveles para que los coloides y demás compuestos que conforman los sólidos suspendidos y sulfuros sedimenten, por lo que se determinó utilizar tres valores de pH (9, 10 y 11), tres valores de dosis de coagulante (1300, 1400 y 1500) y dos velocidades de agitación (100 y 200 rpm).

VI. RECOMENDACIONES:

- Realizar estudios con concentraciones mayores a 1500 ppm para evaluar si remueve mayor concentración de contaminantes presentes en el agua residual.
- Experimentar con otros coagulantes como el cloruro férrico, sulfato de fierro; evaluar a diferentes tiempos de agitación y diferentes concentraciones de floculante.
- La presente tesis sirva de motivación para otros estudios en la remoción de estos contaminantes a mayor escala
- No es conveniente trabajar a pH bajos en estos tipos de tratamiento de aguas residuales provenientes de empresas curtidoras porque se da origen a la formación de sulfuro de hidrógeno y por lo tanto perjudicaría a nuestros resultados y ocasionaría daños a nuestra salud.
- Se recomienda seguir investigando y utilizar esta tesis para remover otros contaminantes como DBO, DQO, Aceites y Grasas, sulfatos y otros contaminantes que están presentes en el agua residual.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ABER, Soheil, et al. Employing the Taguchi method to obtain the optimum conditions of coagulation- flocculation process in tannery wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, (162): 127- 134.
- CAMPOS, Victor. Análisis y Mejora de Procesos de una Curtiembre Ubicada en la Ciudad de Trujillo. Tesis. Lima (Ingeniero Industrial). Universidad Católica, 2013. 113 p
- CARRERA, Grecia & INFANTE, Evelyn. Influencia Del pH, Concentración de Coagulante Y Floculante en la Remoción de Sólidos Suspendidos, Demanda Química de Oxígeno y Turbiedad en Efluente de Lavado de Pulpa de la Planta Papelera Trupal S.A. Tesis. Trujillo (Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional de Trujillo, 2015. 120 p
- CASTAÑEDA, Lourdes & CASTILLO, Jilder. Influencia de La Iluminancia, pH y Tiempo En La Remoción de Sulfuros, Sólidos Suspendidos, Demanda Química y Biológica de Oxígeno de Efluentes de Ribera en Curtiembres Utilizando Microalgas. Tesis. Trujillo (Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional de Trujillo, 2016. 127 p
- CHOWDHURY, Manjushree [et al]. Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. *Water Resources and Industry*, 3: 11-22, setiembre 2013.
- DAUD, Z., et al. Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, (195): 2407- 2411, 2015
- DIXIT, Sumita [et al]. Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. *Journal of Cleaner Production*, 87: 39-49, Enero 2015
- HAYDAR, Sajjad & AZIZ, Javed. Coagulation–flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3): 1035-1040, Setiembre 2009.

- LEE, Chai., ROBINSON, John & CHONG, Mei. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6): 489-508, Noviembre 2014
- LOFRANO, Giusy, MERIÇ, Sureyya, ZENGIN, Gülsüm & ORHON, Derin. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. *Science of The Total Environment*, 461-462: 265-281, Setiembre 2013
- MARÍN, Galvin. Procesos fisicoquímicos de depuración de aguas. 1a. ed. Madrid: Díaz de Santos, 2012. 362 p.

ISBN: 9788499693873

- MILLER, Stuart, GAGNET, Alan & WORDEN, Richard. [En línea] . Reporte Técnico para la Industria de Curtiembres en el Perú. 1st ed. Lima. 1999 - [Fecha de consulta 11 May 2016]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/conam/conam.pdf>.
- MINISTERIO de Vivienda. Modificación de los Valores Máximos Admisibles de las Aguas Residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario. DS N° 001 – 2015 – Vivienda.
- Montgomery, D. C. Diseño y análisis de experimentos. Limusa Wiley, 2008
- PINEDO, Rosy. [En Línea]. Impactos Ambientales Generados por la Curtiembre D-Leyse, en el Distrito de El Porvenir, Provincia Trujillo, Región La Libertad. 2012 - [Fecha de consulta 11 May 2016]. Disponible en : http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/impactos%20ambientales%20generados%20por%20la%20curtiembre%20-leyse,%20en%20el%20distrito%20de%20el%20porvenir,%20provincia%20trujillo,%20region%20la%20libertad.pdf
- RODRIGUEZ, Carol. & ZAPATA, Cristina. Influencia Del pH, Concentración de Coagulante a base de Aluminio y Flocculante en la Remoción de Sulfuros, Sólidos Suspendidos, Demanda Química y Biológica de Oxígeno

de Efluentes de Rivera en Curtiembres. Tesis (Ingeniero Ambiental).

Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2015. 130 p.

- SÁNCHEZ Lavado, Francisco. Tratamientos combinados físico-químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria Corchera. Tesis Doctoral (Ciencias, Sección Química). Badajoz: Universidad de Extremadura, 2007. 708 p
- SHER, Farooq, MALIK, Atiq & LIU, Hao. Industrial polymer effluent treatment by chemical coagulation and flocculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4): 684-689, Diciembre 2013
- SIAH, Chai, et al. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, (92): 489- 508.
- SONG, Z., WILLIAMS, C. & EDYVEAN, R. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. *Desalination*, 164(3): 249-259, Abril 2004 .
- VERMA, Shilpi, PRASAD, Basheshwar & MISHRA, Indra. Pretreatment of petrochemical wastewater by coagulation and flocculation and the sludge characteristics. *Journal of Hazardous Materials*. 178(1-3): 1055-64, Junio 2010.

ANEXOS
Anexo A: DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA
Tabla 10: Determinación de sólidos totales:

Parámetro	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Sólidos Totales	Desecador	Agua Residual	Pesa un vaso de precipitación limpio y seco	Para medir los sólidos totales utilizamos:
	Estufa			$\%ST = \frac{W_{V+R} - W_V}{V} \times 100$
	Balanza Analítica		Medir en una probeta un volumen determinado, transferirla al vaso de precipitación.	$ppm ST = \frac{W_{V+R} - W_V}{V}$
	Vasos de precipitación de 100 ml		Colocar la muestra en estufa a 105°C y dejar hasta sequedad.	Dónde: W _v = Peso del vaso W _{v+r} = Peso del vaso más residuo
			Enfriar en el desecador y pesar.	V = volumen de la muestra

Fuente: Método estándar APHA

Tabla 11: Determinación de sólidos suspendidos:

Parámetro	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Sólidos Suspendidos	Embudo Büchner	Agua Residual	Pesar un papel filtro cualitativo - Whatman 5 (2.5µm) antes de usarlo y colocar en el embudo Büchner	Para medir los sólidos suspendidos utilizamos:
	Papel filtro			$\%SS = \frac{W_{P+R} - W_P}{V} \times 100$
	Balanza Analítica		Mojar el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada.	$ppm SS = \frac{W_{P+R} - W_P}{V}$
	Vasos de precipitación de 100 ml		Tomar un volumen de muestra homogenizada; verter el volumen medido en el embudo de filtración	Dónde: W _p = Peso del filtro W _{p+r} = Peso del papel filtro más residuo
			Secar el papel filtro y pesar.	V = volumen de la muestra

Fuente: Método estándar APHA

Tabla 12: Determinación de sólidos disueltos:

Parámetro	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Sólidos Disueltos	Desecador	Agua Residual	Pesar un vaso de precipitación limpio y seco.	Para medir los sólidos Disueltos utilizamos:
	Estufa		Medir un volumen determinado de muestra de la filtración de SS, transferirlo al vaso de precipitación.	$\% SD = \frac{W_{V+R} - W_V}{V} \times 100$
	Balanza Analítica		Colocar la muestra en estufa a 105°C y dejar hasta sequedad.	$ppm SD = \frac{W_{V+R} - W_V}{V}$
	Vasos de precipitación de 100 ml		Enfriar en un desecador y pesar.	Dónde: W_V = Peso del vaso W_{V+R} = Peso del vaso más residuo V = volumen de la muestra

Fuente: Método estándar APHA

Tabla 13: Determinación de pH:

Parámetro	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
pH	pH-Metro	Agua Residual	Elegir un volumen determinado de muestra.	Se determina directamente en el Instrumento
	Piseta	Agua Destilada	Introducir el electrodo en la muestra y luego se procede a observar la lectura.	
	Vasos de precipitación			

Fuente: Método normalizados para análisis de aguas residuales y potables.

Tabla 14: Determinación de conductividad:

Parámetro	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Conductividad	Conductímetro	Agua Residual	Elegir un volumen determinado de muestra.	Se determina directamente en el Instrumento
	Piseta	Agua Destilada	Introducir la célula de conductividad en la muestra y luego se procede a observar la lectura.	
	Vasos de precipitación			

Fuente: Método normalizados para análisis de aguas residuales y potables.

Tabla 15: Determinación de turbidez:

Parámetro	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Turbidez	Espectrofotómetro Piseta	Agua Residual	Colocar la celda de agua destilada en el espectrofotómetro para calibrar el equipo Colocar en la celda el agua obtenida en la prueba de jarras. Colocar la celda en el espectrofotómetro, y leer directamente. Pasar de absorbancia a transmitancia.	Se determina directamente en el Instrumento

Fuente: Método normalizados para análisis de aguas residuales y potables.

Tabla 16: Determinación de sulfuros:

Parámetro	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Sulfuros	Papel filtro Embudo Bureta Matraz Piseta	Agua Residual Tiosulfato de sodio Almidón Solución de yodo	Se filtra la muestra Se toma un volumen de 2ml de la muestra filtrada Se agrega la solución de yodo y agua destilada; también se le agrega almidón hasta que la muestra se oscurezca Aforar con tiosulfato de sodio	Se determina con la fórmula: A: mL de solución de yodo B= N de la solución de yodo C= mL de solución de tiosulfato de sodio gastado D= N de la solución de tiosulfato de sodio

Fuente: Método estándar APHA

$$\frac{mgS^{2-}}{L} = \frac{[(A * B) - (C * D) * 16000]}{mL Muestra}$$

Anexo B: Fotografías

Muestreo del efluente de la etapa de pelambre INVERSIONES HAROD S.A.C.



Figura 7: Recolección de la muestra del efluente de pelambre

Fuente: Propia

Figura 8: Filtración de la muestra

Fuente: Propia



Figura 9: Muestra filtrada

Fuente: Propia



**Caracterización de la muestra de la etapa de pelambre INVERSIONES
HAROD S.A.C.**



Figura 10: Determinación de la turbidez

Fuente: Propia

Figura 11: Determinación de sólidos totales

Fuente: Propia



Figura 12: Determinación de sólidos Disueltos

Fuente: Propia

Figura 13: Determinación de sólidos Suspensos

Fuente: Propia

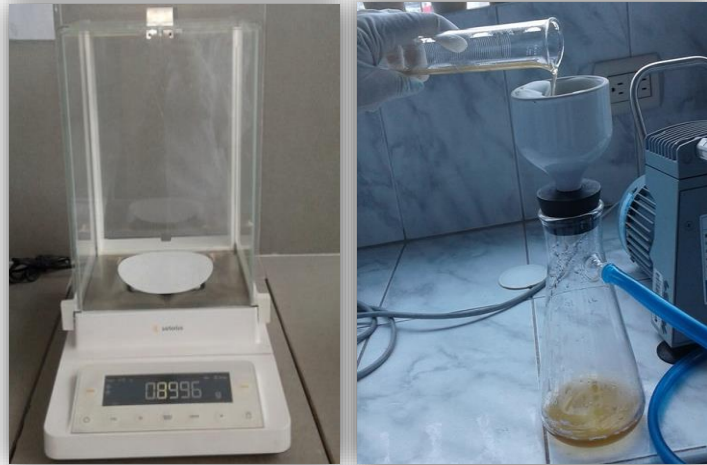
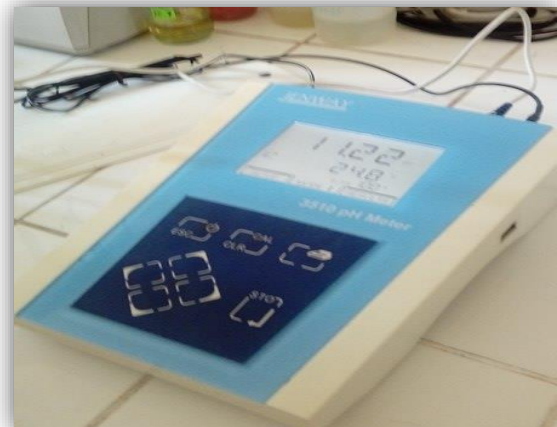


Figura 14: Medición de la conductividad

Fuente: Propia

Figura 15: Medición del pH

Fuente: Propia



Tratamiento de la muestra



Figura 16: Insumos químicos para el tratamiento del agua residual

Fuente: Propia

Figura 17: Ajuste del pH

Fuente: Propia



Figura 18: Agitación de la muestra a velocidades de 100 y 200 rpm

Fuente: Propia

Figura 19: Adición de la dosis de coagulante

Fuente: Propia



Figura 20: Adición de la dosis de floculante

Fuente: Propia



Figura 21: Muestras tratadas de la primera, segunda y tercera repetición

Fuente: Propia



Análisis de la muestra tratada

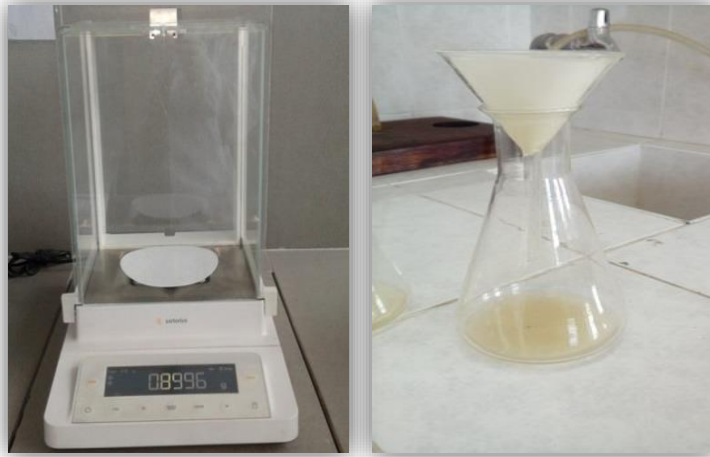


Figura 22: Determinación de sólidos suspendidos del agua residual tratada

Fuente: Propia



Figura 23: Determinación de sulfuros

Fuente: Propia

Anexo C: resultados obtenidos en primera, segunda y tercera repetición
Tabla 17: Cuadro de resultados de los tratamientos en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre, para la primera repetición.

PRIMERA REPETICIÓN							
Tratamiento	pH	Velocidad de agitación (rpm)	Dosis de coagulante (ppm)	Sulfuros		Sólidos suspendidos	
				mg/L	% de remoción	mg/L	% de remoción
1	9	100	1300	276.85	77.76	199.71	90.98
2			1400	260.81	79.05	139.25	93.71
3			1500	253.21	79.66	43.56	98.03
4		200	1300	272.76	78.09	145.63	93.42
5			1400	210.64	83.08	93.48	95.78
6			1500	180.14	85.53	38.36	98.27
7	10	100	1300	333.14	73.24	375.67	83.02
8			1400	340.73	72.63	248.71	88.76
9			1500	286.56	76.98	84.49	96.18
10		200	1300	358.78	71.18	332.33	84.98
11			1400	324.05	73.97	236.84	89.3
12			1500	208.15	83.28	73.029	96.7
13	11	100	1300	426.25	65.76	575.38	74
14			1400	405.59	67.42	413.831	81.3
15			1500	285.95	77.03	289.9	86.9
16		200	1300	394.38	68.32	400.77	81.89
17			1400	370.86	70.21	383.51	82.67
18			1500	242.51	80.52	240.11	89.15
* [] inicial de sulfuros: 1 244.9 ppm							
* [] inicial de sólidos suspendidos: 2 213 ppm							

Fuente: Propia

Tabla 18: Cuadro de resultados de los tratamientos en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre, para la segunda repetición.

SEGUNDA REPETICIÓN							
Tratamiento	pH	Velocidad de agitación (rpm)	Dosis de coagulante (ppm)	Sulfuros		Sólidos suspendidos	
				mg/L	% de remoción	mg/L	% de remoción
1	9	100	1300	308.74	75.2	173.06	92.18
2			1400	255.83	79.45	111.76	94.95
3			1500	219.6	82.36	46.03	97.92
4		200	1300	332.76	73.27	145.83	93.43
5			1400	274.25	77.97	216.43	90.22
6			1500	147.65	88.14	24.56	98.89
7	10	100	1300	369.98	70.28	415.38	81.23
8			1400	433.72	65.16	271.31	87.74
9			1500	342.6	72.48	91.4	95.87
10		200	1300	345.96	72.21	313.03	85.85
11			1400	305.37	75.47	194.74	91.2
12			1500	216.74	82.59	77.01	96.52
13	11	100	1300	572.79	53.99	612.56	72.32
14			1400	565.43	54.58	478	78.4
15			1500	486.76	60.9	371.78	83.2
16		200	1300	470.2	62.23	417.81	81.12
17			1400	405.46	67.43	437.95	80.21
18			1500	297.41	76.11	220.41	90.04
* [] inicial de sulfuros: 1 244.9 ppm							
* [] inicial de sólidos suspendidos: 2 213 ppm							

Fuente: Propia

Tabla 19: Cuadro de resultados de los tratamientos en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente tratado de la etapa de pelambre, para la tercera repetición.

TERCERA REPETICIÓN							
Tratamiento	pH	Velocidad de agitación (rpm)	Dosis de coagulante (ppm)	Sulfuros		Sólidos suspendidos	
				mg/L	% de remoción	mg/L	% de remoción
1	9	100	1300	271.64	78.18	164.43	92.18
2			1400	234.29	81.18	290.12	86.89
3			1500	250.72	79.86	85.2	96.15
4		200	1300	356.29	71.38	136.76	93.82
5			1400	304.5	75.54	74.14	96.65
6			1500	199.81	83.95	36.74	98.34
7	10	100	1300	407.21	67.29	445.48	79.87
8			1400	381.19	69.38	300.53	86.42
9			1500	281.6	77.38	99.14	95.52
10		200	1300	264.79	78.73	312.03	85.9
11			1400	287.32	76.92	228.6	89.67
12			1500	185.86	85.07	96.71	95.63
13	11	100	1300	529.46	57.47	520.5	76.48
14			1400	421.27	66.16	390.59	82.35
15			1500	308.24	75.24	272.2	87.7
16		200	1300	408.58	67.18	484.65	78.1
17			1400	361.77	70.94	315.35	85.75
18			1500	240.02	80.72	253.17	88.56
* [] inicial de sulfuros: 1 244.9 ppm							
* [] inicial de sólidos suspendidos: 2 213 ppm							

Fuente: Propia

Anexo D: Análisis estadísticos
Tabla 20: Pruebas Multivariantes.

Pruebas multivariante ^a						
Efecto		Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.
pH	Traza de Pillai	,916	15,202	4,000	72,000	,000
	Lambda de Wilks	,084	42,782 ^b	4,000	70,000	,000
	Traza de Hotelling	10,866	92,358	4,000	68,000	,000
	Raíz mayor de Roy	10,866	195,582 ^c	2,000	36,000	,000
Velocidad agitación	Traza de Pillai	,489	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
	Lambda de Wilks	,511	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
	Traza de Hotelling	,956	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
	Raíz mayor de Roy	,956	16,738 ^b	2,000	35,000	,000
Dosis coagulante	Traza de Pillai	,881	14,179	4,000	72,000	,000
	Lambda de Wilks	,133	30,569 ^b	4,000	70,000	,000
	Traza de Hotelling	6,441	54,748	4,000	68,000	,000
	Raíz mayor de Roy	6,425	115,645 ^c	2,000	36,000	,000
pH * velocidad agitación	Traza de Pillai	,212	2,136	4,000	72,000	,085
	Lambda de Wilks	,793	2,153 ^b	4,000	70,000	,083
	Traza de Hotelling	,255	2,167	4,000	68,000	,082
	Raíz mayor de Roy	,227	4,087 ^c	2,000	36,000	,025
pH * dosis coagulante	Traza de Pillai	,566	3,550	8,000	72,000	,002
	Lambda de Wilks	,489	3,766 ^b	8,000	70,000	,001
	Traza de Hotelling	,935	3,973	8,000	68,000	,001
	Raíz mayor de Roy	,795	7,151 ^c	4,000	36,000	,000
velocidad agitación * dosis coagulante	Traza de Pillai	,213	2,142	4,000	72,000	,084
	Lambda de Wilks	,789	2,206 ^b	4,000	70,000	,077
	Traza de Hotelling	,266	2,264	4,000	68,000	,071
	Raíz mayor de Roy	,260	4,675 ^c	2,000	36,000	,016
pH * velocidad agitación * dosis coagulante	Traza de Pillai	,115	,550	8,000	72,000	,815
	Lambda de Wilks	,888	,537 ^b	8,000	70,000	,825
	Traza de Hotelling	,123	,524	8,000	68,000	,834
	Raíz mayor de Roy	,085	,764 ^c	4,000	36,000	,555

a. Diseño : Intersección + pH + velocidad agitación + dosis coagulante + pH * velocidad agitación + pH * dosis coagulante + velocidad agitación * dosis coagulante + pH * velocidad agitación * dosis coagulante

b. Estadístico exacto

c. El estadístico es un límite superior en F que genera un límite inferior en el nivel de significación.

Como se puede observar los niveles de pH velocidad de agitación y dosis coagulante tienen diferencias altamente significativas con $P < 0.01$

Tabla 20: Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	remociónsulfuros	399416,723 ^a	17	23,495,101	9,967	,000
	remociónsólidossuspendidos	1181500,235 ^b	17	69,500,014	39,195	,000
Intersección	remociónsulfuros	45,829,755,400	1	45,829,755,400	19,440,932	,000
	remociónsólidossuspendidos	208,317,749,078	1	208,317,749,078	117,481,098	,000
pH	remociónsulfuros	187,174,557	2	93,587,278	39,700	,000
	remociónsólidossuspendidos	677,303,197	2	338,651,599	190,983	,000
Velocidadagitación	remociónsulfuros	44,098,369	1	44,098,369	18,706	,000
	remociónsólidossuspendidos	46,229,161	1	46,229,161	26,071	,000
Dosiscoagulante	remociónsulfuros	127,076,633	2	63,538,316	26,953	,000
	remociónsólidossuspendidos	395,819,536	2	197,909,768	111,612	,000
Error	remociónsulfuros	84,865,848	36	2,357,385		
	remociónsólidossuspendidos	63,835,282	36	1,773,202		
Total	remociónsulfuros	46,314,037,971	54			
	remociónsólidossuspendidos	209,563,084,595	54			
Total corregida	remociónsulfuros	484,282,571	53			
	remociónsólidossuspendidos	1,245,335,517	53			
a. R cuadrado = .825 (R cuadrado corregida = .742)						
b. R cuadrado = .949 (R cuadrado corregida = .925)						

Como se puede observar, tanto el pH, velocidad de agitación y dosis coagulante tienen efectos altamente significativos con $P < 0.01$ en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos.

Pruebas post hoc
1) pH

Tabla 21: Comparaciones múltiples de las variables dependientes en función al pH.

Variable dependiente	(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Remoción sulfuros	pH9	pH10	59,0700*	1,618,430	,002	195,108	986,292
		pH11	143,4689*	1,618,430	,000	1,039,096	1,830,281
	pH10	pH9	-59,0700*	1,618,430	,002	-986,292	-195,108
		pH11	84,3989*	1,618,430	,000	448,396	1,239,581
	pH11	pH9	-143,4689*	1,618,430	,000	-1,830,281	-1,039,096
		pH10	-84,3989*	1,618,430	,000	-1,239,581	-448,396
Remoción solidos suspendidos	pH9	pH10	112,85439*	14,036,469	,000	7,854,509	14,716,369
		pH11	272,96783*	14,036,469	,000	23,865,853	30,727,713
	pH10	pH9	-112,85439*	14,036,469	,000	-14,716,369	-7,854,509
		pH11	160,11344*	14,036,469	,000	12,580,414	19,442,275
	pH11	pH9	-272,96783*	14,036,469	,000	-30,727,713	-
		pH10	-160,11344*	14,036,469	,000	-19,442,275	-

En las pruebas post hoc se analizó de par en par, donde se encuentra la mayor diferencia entre los límites, con cada uno de las remociones en función del pH.

2) Dosis de coagulante

Tabla 22: Comparaciones múltiples de las variables dependientes en función a la Dosis de coagulante.

Variable dependiente	(I) dosis coagulante	(J) dosis coagulante	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Remoción sulfuros	1300ppm	1400ppm	-309,711	1,618,430	,149	-705,304	85,881
		1500ppm	-	1,618,430	,000	-1,543,942	-752,758
	1400ppm	1300ppm	309,711	1,618,430	,149	-85,881	705,304
		1500ppm	-83,8639*	1,618,430	,000	-1,234,231	-443,046
	1500ppm	1300ppm	114,8350*	1,618,430	,000	752,758	1,543,942
		1400ppm	83,8639*	1,618,430	,000	443,046	1,234,231
Remoción sólidos suspendidos	1300ppm	1400ppm	-	14,036,469	,000	-	-
		1500ppm	74,77050*	14,036,469	,000	10,907,980	4,046,120
	1400ppm	1300ppm	-	14,036,469	,000	-	-
		1500ppm	207,06728*	14,036,469	,000	24,137,658	17,275,798
	1500ppm	1300ppm	74,77050*	14,036,469	,000	4,046,120	10,907,980
		1400ppm	-	14,036,469	,000	-	-
1500ppm	1300ppm	132,29678*	14,036,469	,000	16,660,608	9,798,748	
	1400ppm	207,06728*	14,036,469	,000	17,275,798	24,137,658	
1500ppm	1300ppm	132,29678*	14,036,469	,000	9,798,748	16,660,608	
	1400ppm	132,29678*	14,036,469	,000	9,798,748	16,660,608	

En las pruebas post hoc se analizó de par en par, donde se encuentra la mayor diferencia entre los límites, con cada uno de las remociones en función de la dosis

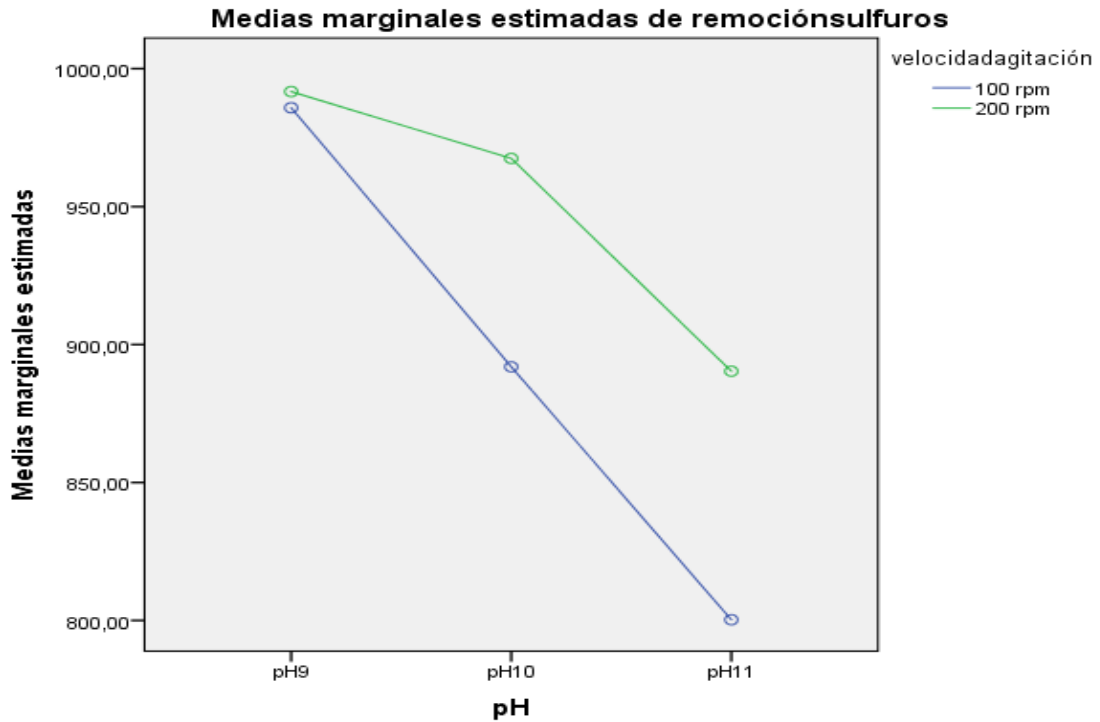


Figura 24: Medias marginales estimadas de remoción de sulfuros en función a pH y velocidad de agitación

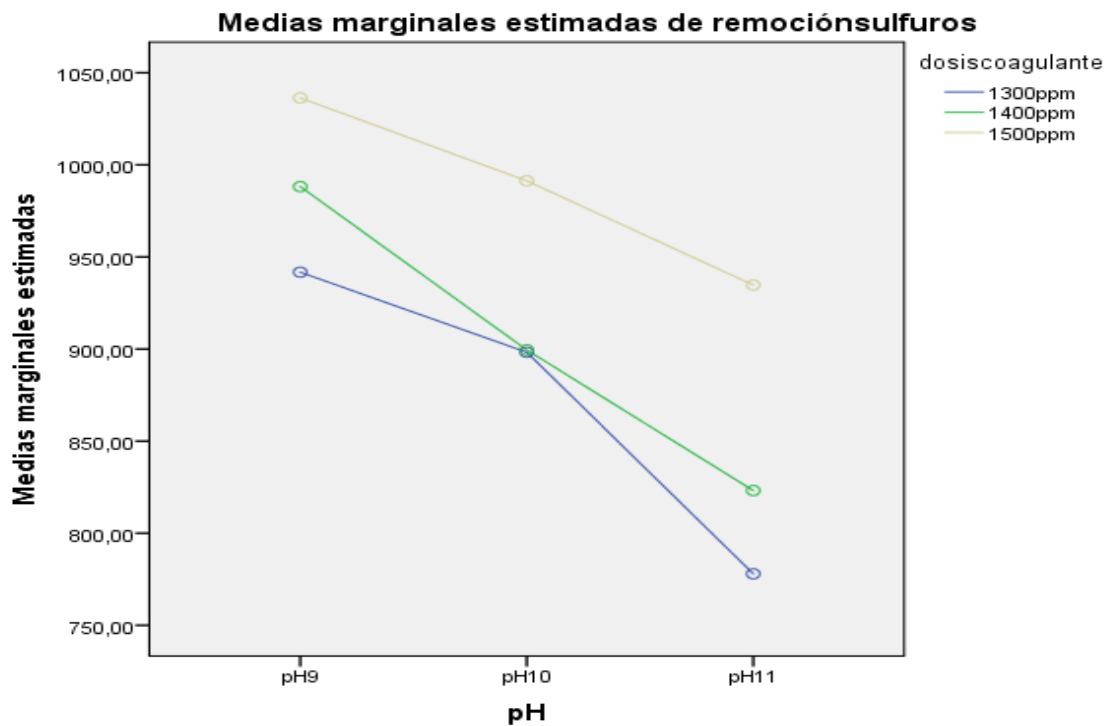


Figura 25: Medias marginales estimadas de remoción de sulfuros en función a pH y Dosis de coagulante

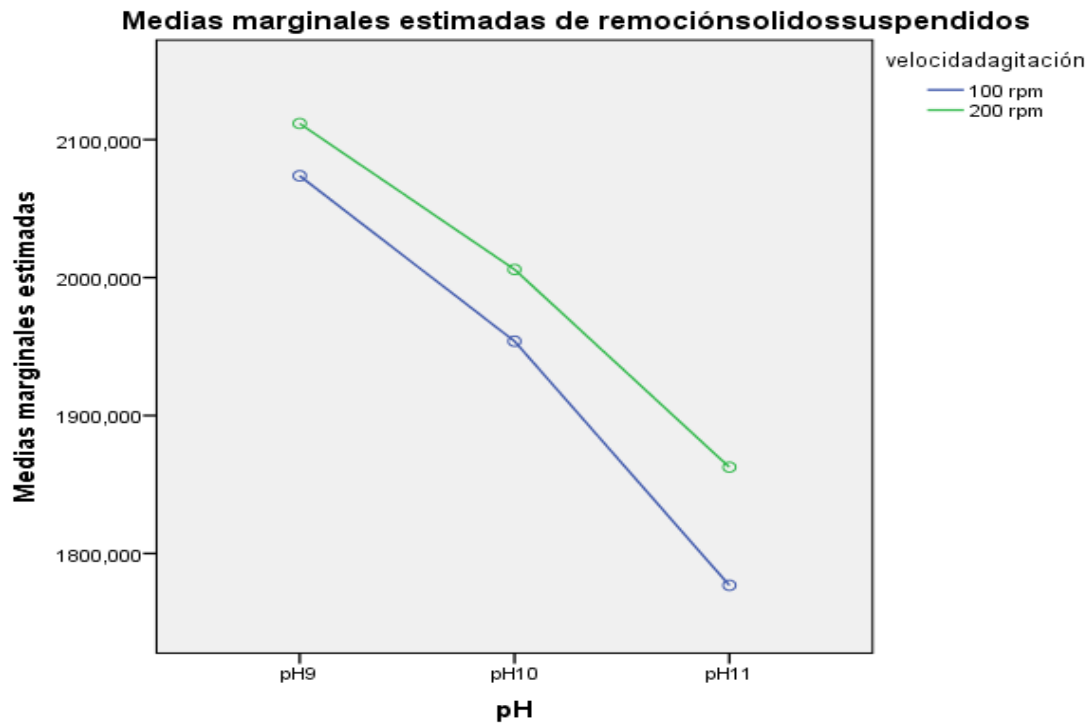


Figura 26: Medias marginales estimadas de remoción de sólidos suspendidos en función a pH y velocidad de agitación

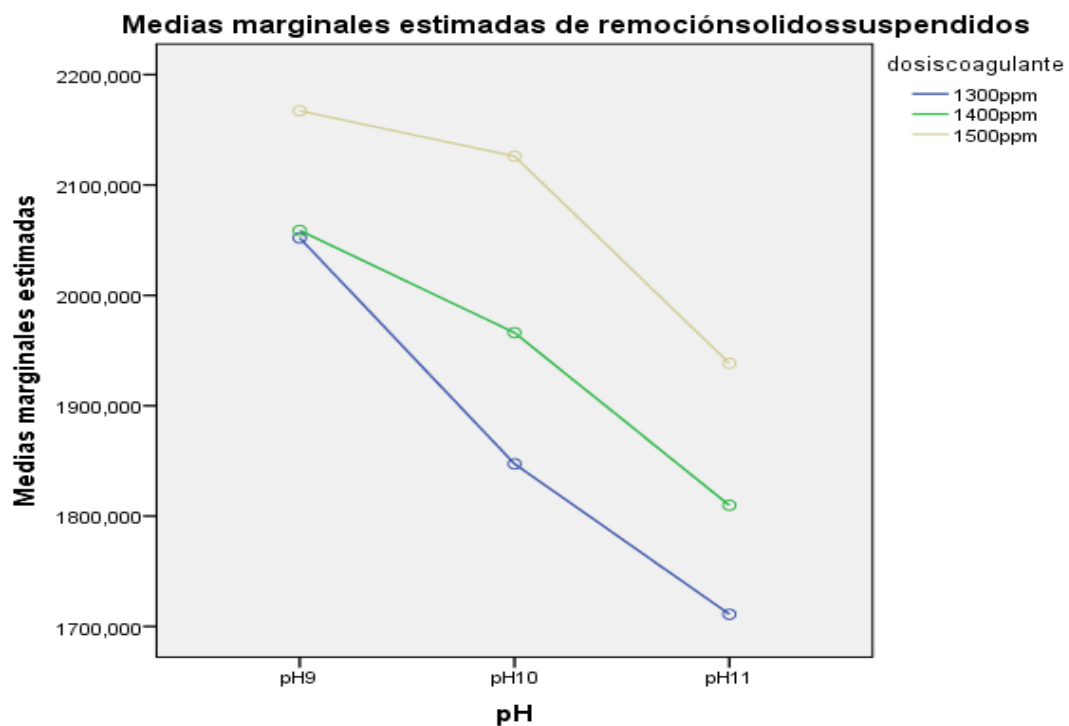


Figura 27: Medias marginales estimadas de remoción de sólidos suspendidos en función a pH y Dosis de coagulante

Tabla 23: Pruebas de Normalidad

	Dosiscoagulante	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Remociónsulfuros	1300ppm	,926	18	,165
	1400ppm	,952	18	,465
	1500ppm	,888	18	,036
Remociónsolidossuspendidos	1300ppm	,930	18	,198
	1400ppm	,967	18	,749
	1500ppm	,839	18	,006

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Ho: La remoción de sulfuros en las muestras de efluente de pelambre según dosis coagulante siguen una distribución normal

H1: La remoción de sulfuros en las muestras de efluente de pelambre según dosis coagulante no siguen una distribución normal

La prueba es no significativa $P > 0.05$

Por lo tanto la remoción de sulfuros en las muestras de efluente de pelambre según dosis coagulante sigue una distribución normal.

Ho: La remoción de sólidos suspendidos en las muestras de efluente de pelambre según dosis coagulante siguen una distribución normal

H1: La remoción de sólidos suspendidos en las muestras de efluente de pelambre según dosis coagulante no siguen una distribución normal

La prueba es no significativa $P > 0.05$

Por lo tanto la remoción de sólidos suspendidos en las muestras de efluente de pelambre según dosis coagulante siguen una distribución normal

Tabla 24: Pruebas de Varianza

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a				
	F	df1	df2	Sig.
remociónsulfuros	3,350	17	36	,001
Remociónsolidossuspendidos	3,749	17	36	,000

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

Anexo E: Calibración de Equipos

❖ Calibración de pH-metro

Se deberá calibrar todo el campo de medida del pH metro con las disoluciones tampón nominales de pH 2; pH 4; pH 7; pH 9 y pH 12.

La secuencia y el método operativo de medida pueden realizarse de la siguiente manera:

En primer lugar, se realiza la lectura inicial, el ajuste (si es posible) y la lectura después del ajuste según se ha indicado el punto a)

Se realiza la lectura de las siguientes disoluciones tampón: tampón pH 2, pH 4; pH 7; pH 9 y pH 12, procediéndose según la siguiente rutina:

1. Se llena un vaso de precipitados limpio y seco con la disolución tampón pH 2, se introduce el/los electrodos y se realiza la lectura (es necesario controlar la temperatura de la disolución con el termómetro y anotarla para hacer, en su caso, las correcciones oportunas).
2. Se retira el/los electrodos y el termómetro y se aclaran con abundante agua des ionizada, eliminando el exceso con papel absorbente.
3. Se procede como en el punto 1 y 2 para la disolución tampón pH 4.
4. Se procede de la misma manera para el resto de las disoluciones tampón.

Para cada disolución tampón se realizan 3 lecturas no consecutivas, tomándose como valor la media de las 3.

Con independencia de la calibración periódica que se realice, antes de cada utilización del pH metro debe comprobarse el correcto funcionamiento con las disoluciones tampón pH 4 y 7 y la respuesta del mismo.

❖ Calibración de balanza analítica

Calibración externa mediante ICM (Solamente para modelos ARS/PRS)

Según el tipo de balanza, se pueden usar pesas de calibración en pasos de 10g, 50g, 100g y 500g, teniendo en cuenta que las pesas de calibración deben corresponder a la precisión de la balanza. Para calibración externa por medio de ICM se debe seleccionar “FIJAR MODO CALIBRACIÓN EXTERNO” en el menú de configuración.

- Conmute con la tecla « » a "PESAR"
- Oprima "CAL" hasta que aparezca "CALIBRACIÓN"
- La balanza realiza una medición del punto cero (se muestra en forma intermitente 0000 g)
- Después de la medición del punto cero, el indicador parpadea con el peso de calibración recomendado
- Coloque el peso de calibración
- El indicador continúa parpadeando
- Cuando el indicador deje de parpadear, la calibración ha terminado