



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

“Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos
suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Rita Gianella Otiniano Aguilar

ASESOR:

Ing. Walter Moreno Eustaquio

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

TRUJILLO- PERÚ

2016

Ing. Medardo Alberto Quezada
PRESIDENTE

Ing. Misael Ydilbrando Villacorta
SECRETARIO

Ing. Walter Moreno Eustaquio
VOCAL

DEDICATORIA

A mis padres, quienes ante todo han sido apoyo incondicional para mi realización profesional.

A mi abuelita, por haber formado a la persona que ahora soy.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le doy gracias a Dios por guiarme y cuidarme día a día.

Agradezco a mi familia por haber confiado en mí y haberme brindado un estímulo continuo a lo largo de mis años de estudio. Este logro no habría sido posible sin ellos.

Quiero expresar mi sincera gratitud a mi asesor Ing. Walter Moreno por su paciencia, motivación, entusiasmo e inmenso conocimiento.

Muchísimas gracias a Diego Estrada, no podría haber imaginado tener un mejor consejero y apoyo para mi investigación.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mis compañeros y amigos por las discusiones de diferentes temas, por las noches sin dormir que estuvimos trabajando juntos para terminar lo que ahora es un logro cumplido.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, OTINIANO AGUILAR, RITA GIANELLA con DNI N° 70369724, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en esta tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponde 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, Diciembre del 2016

OTINIANO AGUILAR, RITA GIANELLA

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo” que describe el trabajo realizado para la obtención del ensayo óptimo respecto a los resultados conseguidos en esta investigación.

En la primera parte se redacta la introducción la cual menciona la realidad problemática, motivo a la realización de la investigación. Posteriormente se encuentra la recopilación de información proveniente de investigaciones previas, que sirvió para comparar los resultados de esta investigación. Luego se hizo mención a las teorías relacionadas al tema.

Se formuló el problema de la investigación con su respectiva justificación debido a que en el lugar de estudio se incumple el Valor Máximo Admisible (VMA) del agua residual de usuarios no domésticos en el alcantarillado sanitario para el parámetro Sólidos Suspendidos Totales, luego se planteó una hipótesis en donde se consideró el efecto del proceso de coagulación-floculación a pH, dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio y floculante aniónico se estimó sería el óptimo para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del Camal Municipal El Porvenir-Trujillo.

La segunda parte muestra la metodología utilizada, las técnicas e instrumentos, la población y muestra empleada, para finalmente conseguir los resultados, la discusión de los mismos y las conclusiones respecto a la investigación.

Como solución de esta investigación se consiguió que el ensayo N° 18 a pH 6, dosificación de 60 mL de coagulante Sulfato de Aluminio y 3 mL de floculante aniónico, obtuvo el mayor porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos de 83.66% de acuerdo a los resultados de la muestra de agua tomada del efluente final del Camal Municipal El Porvenir.

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar cuál es el efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra tomada del efluente final del Camal Municipal El Porvenir, mediante la obtención del mayor porcentaje de remoción según las variables a tres diferentes pH (pH 4, pH 6 y pH 8), dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio (40 mL, 50 mL y 60 mL) y floculante aniónico (1 mL, 2 mL y 3 mL). Al realizar la caracterización físico-química de la muestra se comprobó que la muestra sobrepasaba el Valor Máximo Admisible (VMA) del agua residual de usuarios no domésticos en el alcantarillado sanitario para el parámetro Sólidos Suspendidos Totales según el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA. En tal sentido, se justificó la realización de la investigación, de la cual se obtuvo los resultados del efecto del proceso de coagulación-floculación consiguiendo que a pH 6, dosificación de 60 mL de coagulante Sulfato de Aluminio y 3 mL de floculante aniónico se consiguió la mayor remoción de Sólidos Suspendidos Totales con un 83.66%.

Palabras claves: Sólidos Suspendidos Totales, Coagulación- Floculación, pH, dosificación, remoción.

ABSTRACT

This research was carried out with the objective of determining the effect of the coagulation-flocculation process for the removal of Total Suspended Solids from the sample taken from the final effluent of El Porvenir Municipal Slaughterhouse, by obtaining the highest percentage of removal according to three different pH values (pH 4, pH 6 and pH 8), coagulant dosage of Aluminum Sulphate (40 mL, 50 mL and 60 mL) and anionic flocculant (1 mL, 2 mL and 3 mL). When performing the chemical-chemical characterization of the sample, it was verified that the sample exceeded the Maximum Admissible Value (VMA) of the wastewater of non domestic users in the sanitary sewer for the parameter Total Suspended Solids, according to D.S. N° 021-2009-VIVIENDA. In this sense, was justified the research, from which the results of the coagulation-flocculation process had a pH 6, a dosage of 60 ml of aluminum sulphate coagulant and 3 ml of anionic flocculant it achieved the highest removal of Total Suspended Solids with 83.66%.

Key words: Total Suspended Solids, Coagulation-Flocculation, pH, dosage, removal

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	11
1.2. TRABAJOS PREVIOS	13
1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA	15
1.3.1. MARCO CONCEPTUAL	15
1.3.1.1. pH (POTENCIAL DE HIDRÓGENO)	15
1.3.1.2. COAGULACIÓN	15
1.3.1.3. FLOCULACIÓN	15
1.3.1.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	15
1.3.1.5. TEST DE JARRAS	16
1.3.2. MARCO TEÓRICO	16
1.3.2.1. PLANTA DE CAMAL	16
1.3.2.2. COAGULACIÓN	17
1.3.2.2.1. FACTORES DE INFLUENCIA	17
1.3.2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS COAGULANTES	19
1.3.2.2.3. COAGULANTES A BASE DE ALUMINIO	19
1.3.2.3. FLOCULACIÓN	19
1.3.2.3.1. FACTORES DE INFLUENCIA	19
1.3.2.3.2. FLOCULANTES	20
1.3.2.4. COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN	21
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	22
1.6. HIPÓTESIS	22
1.7. OBJETIVOS	23
1.7.1. OBJETIVO GENERAL	23
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
II. MÉTODO	24
2.1. VARIABLES	24
2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	24
2.3. OPERACIONALIZACIÓN	25
2.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	26
2.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	26

2.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	27
2.6.1. METODOLOGÍA	27
2.6.2. MATERIALES	28
2.6.2.1. MATERIALES DE LABORATORIO	28
2.6.2.2. EQUIPOS	28
2.6.2.3. REACTIVOS QUÍMICOS	28
2.7. ASPECTOS ÉTICOS.....	28
III. RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	29
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RECOLECTADA DEL EFLUENTE FINAL DEL CAMAL EL PORVENIR.....	29
3.2. RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	29
3.3. DATOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS MEDIANTE EL MÉTODO ESTADÍSTICO ANOVA.....	30
3.4. EFECTO DEL pH CON EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SST.....	32
3.5. EFECTO DE LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO CON EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SST	32
3.6. EFECTO DE LA DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE ANIÓNICO CON EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SST	33
IV. DISCUSIÓN	34
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RECOMENDACIONES.....	39
VII. REFERENCIAS	40
VIII. ANEXOS	42

I. INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Dentro de los diferentes tipos de actividades industriales, se considera a la industria alimentaria como una de las principales actividades económicas con alto potencial contaminante, caracterizado principalmente por un elevado volumen de vertimientos líquidos, emisiones gaseosas y sobrecargas de nutrientes a los suelos (Becerra-Gutiérrez y otros, 2014). En este sentido, se hace referencia a las plantas de camales o también llamados mataderos, y se resalta que el agua es extremadamente importante en todo el proceso de su producción, desde el inicio en el lugar de entrega de los animales hasta llegar a los lugares de almacenamiento y cámaras frigoríficas. Es así como finalmente los efluentes generados llegan a contener grasas, sólidos suspendidos y materia orgánica e inorgánica (Sáez y Martínez, 1987).

Los efluentes industriales vertidos al ambiente provocan diferentes impactos sobre éste en función de su naturaleza (Rodríguez y otros, 2003), problema que afecta directamente la eficacia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, debido al ingreso de estos efluentes a los sistemas de alcantarillado sin antes ser tratados. Situación que es considerada como el principal potencial de afectación ambiental de éstas industrias; ya que además de demandar altos consumos de agua, los sistemas de tratamiento en algunas de las plantas de camales presentan problemas en su operación y funcionamiento lo cual dificulta el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente (D.S. 021-2009 VIVIENDA).

En este sentido, el sector saneamiento ha desarrollado la normatividad sobre los valores máximos admisibles (VMA) del agua residual de usuarios no domésticos en el alcantarillado sanitario, con el Decreto Supremo N.º 021-2009-VIVIENDA, buscando incentivar al usuario no doméstico a tratar su efluente antes de descargarlo al alcantarillado (SUNASS, 2015).

Asimismo, como resultado de la gran variedad de procesos u etapas dentro de las plantas de camal, es que han ido apareciendo sucesivamente tratamientos para parámetros como sólidos en suspensión, carga iónica, toxicidad y color (Rodríguez y otros, 2003). De los cuales se puede

mencionar: cribado fino, sedimentación, coagulación- floculación, filtros percoladores y lodos activados (Aguilar y otros, 2005). Específicamente el procedimiento fisicoquímico más empleado debido a su rentabilidad y eficiencia es el tratamiento de coagulación- floculación, cual consiste en el condicionamiento o pretratamiento de las aguas residuales mediante la incorporación de coagulantes y agentes de floculación para facilitar la sedimentación de los sólidos en suspensión (Muñoz, 2005).

Durante los últimos 20 años nuevos coagulantes, tanto orgánicos como inorgánicos, se han utilizado en un intento de mejorar la eliminación de la materia orgánica y sólidos suspendidos durante el tratamiento de las aguas residuales urbanas y efluentes industriales. Estos productos también se han utilizado para el tratamiento de residuos de la industria agroalimentaria y, en particular, de los mataderos (Aguilar y otros, 2005). Entre los coagulantes más ampliamente utilizados para la desestabilización de las partículas coloidales se encuentran las sales metálicas, como el coagulante más usado: Sulfato 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 (Bajza y otros, 2004). Finalmente, no debe faltar mencionar que la determinación adecuada del tipo de coagulante y/o floculante y dosis, así como el pH óptimo, no sólo mejorará las características del agua, sino también disminuirá el tiempo de establecimiento y los costos involucrados (Aguilar y otros, 2005).

1.2. TRABAJOS PREVIOS

El tratamiento de coagulación-floculación se ha desarrollado en varios trabajos de investigación científica para la remoción de Sólidos Suspendidos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, aceites y grasas, de manera que han identificado con el tiempo diferentes factores que pueden hacer variar los resultados e incrementar o disminuir la eficiencia del tratamiento.

Según Rodríguez y Zapata (2015) en su tesis “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” aplica el tratamiento de coagulación- floculación buscando conseguir la mayor remoción de algunos parámetros fisicoquímicos comenzando por evaluar el pH óptimo para el proceso, usando primeramente tres valores de pH: 6, 7.5 y 10 con diferentes dosis de coagulante Sulfato de Aluminio y PAC, tanto para la etapa de Remojo como para la etapa de Pelambre. Y de floculante polielectrolito se utilizó una concentración constante de 4 mg/L. Obteniendo en la etapa de Remojo a pH 7.5, 1400 mg/L de dosis de Sulfato de Aluminio y Floculante catiónico que removió un 63% los Sólidos Suspendidos. Y en la etapa de Pelambre a pH 9, 600 mg/L de concentración de Sulfato de Aluminio y Floculante catiónico, que removió 60% de Sólidos Suspendidos.

Según Daud, Awang, Abdul, Nasir, Baharudin y Ahmad (2015) en su artículo científico “Suspended solid, color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by coagulation and flocculation processes” investigaron la eficacia de los procesos de coagulación floculación en el tratamiento de agua residual de biodiesel, y cuyos resultados fueron 97%, 95%, 75% y 97% de remoción de sólidos suspendidos (SS), color, DQO, aceites y grasas respectivamente para la dosis óptima de 300 mg/L de PAC, demostrando la eficacia de la coagulación-floculación para el tratamiento de agua residual de biodiesel.

Según Chowdhury, Mostafa, Kumar Biswas y Kumar Saha (2013) en su artículo científico “Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes” consiguieron además de enfocarse en la caracterización de efluentes y en el acceso al tratamiento físico-químico por procesos de filtración y coagulación, que el coagulante Cloruro de Hierro (FeCl_3) de dosis de 150 mg/L cerca del pH neutro mostró la mejor eficacia de eliminación para los principales parámetros físico-químicos. Los cuales resultaron que la mayoría de los parámetros físicos y químicos se encontraran muy por debajo de los límites permisibles prescritos para el efluente descargado.

Según Haydar y Aziz (2009) en su artículo científico “Coagulation-flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers” declara al Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) como un coagulante apropiado al tratamiento de aguas residuales obteniendo porcentajes de reducción de turbidez de 98.7- 99.8% y remoción de Sólidos Suspendidos de 94.3-97.1% para la dosis de 240 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Según Ahmad, Wong, Teng y Zuhairi (2008) en su artículo científico “Improvement of alum and PAC 1 Coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater” se usó 500mg/L de PAC a pH 6, obteniendo una reducción del 99.9% de turbidez, 99.5% de Sólidos Suspendidos y 91.3% de DQO, aplicando el método coagulación-floculación para el tratamiento de las aguas residuales de una papelera. Concluyendo que la eficacia de remoción es altamente dependiente del control de la dosis de coagulante y el rango de pH.

1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1. MARCO CONCEPTUAL

1.3.1.1. pH (POTENCIAL DE HIDRÓGENO)

El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidrógeno en una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, esos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican aumento acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indican neutralidad (García, 2012).

1.3.1.2. COAGULACIÓN

Es el 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 (Bajza y otros, 2004 y Kumar y otros, 2012).

1.3.1.3. FLOCULACIÓN

Aglomeración de partículas desestabilizadas en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

La función de la floculación es optimizar la capacidad 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 (Wang y otros, 2004).

1.3.1.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos suspendidos totales (SST) se diferencian de los sólidos disueltos totales, en que el primero no puede pasar a través de un tamiz de dos micrómetros y aún están suspendidos indefinidamente en solución. El término "sólidos sedimentables" se refiere a materiales de cualquier tamaño no se mantiene suspendido o disuelto en un tanque no está sujeto a retención de movimiento. Sólidos sedimentables

pueden incluir grandes partículas o moléculas insolubles. (Metcalf & Eddy, 2003)

1.3.1.5. TEST DE JARRAS

El test de jarras es la herramienta disponible más valiosa para desarrollar un procedimiento común de laboratorio a fin de determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante, alternando velocidades de mezclado, así como la dosis de floculante, a pequeña escala con el propósito de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor (García y otros, 2012).

1.3.2. MARCO TEÓRICO

1.3.2.1. PLANTA DE CAMAL

“Se clasifica como una instalación de procesamiento de carne que puede consumir entre 2,5 y 40 m³ de agua por toneladas métricas de carne producida” (Bustillo-Lecompte, 2015, p. 293). Conocido también como matadero, donde los animales antes de ser beneficiados son bañados para retirarles del cuerpo el polvo y las excretas. La sangre se recolecta independientemente y no debe descargarse junto con el agua residual. Una vez desangrado, el animal pasa a ser colocado en agua caliente durante 4 o 6 minutos a la temperatura aproximada de 60 °C para luego eliminar las cerdas. Se obtiene agua caliente con cerdas, pelos y pequeñas cantidades de grasa. Las vísceras se limpian en la sección de procesamiento respectiva, en esta etapa se produce aguas de limpieza contaminadas con residuos de detergente, excrementos, entre otros, generando aguas residuales. (Muñoz, 2005)

▪ CAMAL MUNICIPAL EL PORVENIR

El Camal Municipal El Porvenir se dedica al aprovechamiento del ganado por medio del proceso de sacrificio, con el fin obtener carne

para el consumo humano. En la actualidad se encuentra clasificado bajo el Reglamento Sanitario de Faenado de animales de Abasto (Servicio Nacional de Sanidad Agraria) como Matadero de Categoría I, por el número de animales que son beneficiados a diario y servicio Veterinario, convirtiéndolo en proveedor para la zona.

Su representante legal es la Municipalidad distrital de El Porvenir, bajo la administración del Sr. Yuri Christian Encomenderos Alva. Está ubicado en la calle Hipólito Unanue N° 297, sector Rio Seco, Distrito El Porvenir.

1.3.2.2. COAGULACIÓN

1.3.2.2.1. FACTORES DE INFLUENCIA

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 (Wang y otros, 2004).

B. Dosis del coagulante: Se puede explicar mediante el uso de concepto de “zona de coagulación”, 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 absorben 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

metabólico que atrapan las partículas coloidales y produce una muy efectiva coagulación de barrido (Wang y otros, 2004).

C. Potencial Zeta: Representa la carga neta de las partículas coloidales. En consecuencia, mientras más alto es el valor del potencial zeta, mayor es la magnitud de la potencia repulsiva entre las partículas y por lo tanto más estable es el sistema coloidal (Wang y otros, 2004). A medida que disminuye el potencial zeta las partículas pueden aproximarse aumentando la posibilidad de una colisión. Los coagulantes proporcionan cargas de signo contrario para eliminar ese potencial (Kumar y otros, 2012).

D. 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 del pH por debajo del punto isoelectrico. 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 (Wang y otros, 2004).

E. Mezclado del coagulante: Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. Un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas es lo más efectivo (Kumar y otros, 2012).

F. Temperatura: La coagulación con sales metálicas se ve adversamente afectada por las bajas temperaturas. La temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos, (más fría, más tiempo) (García y otros, 2012 y Wang y otros, 2004).

1.3.2.2.2. CARACTERISTICAS DE LOS COAGULANTES

Los químicos que se añaden al agua para lograr la coagulación, deben tener las siguientes características:

- Cationes metálicos trivalentes o polímeros cuya efectividad como coagulantes se haya determinado.
- No tóxicos y sin efectos fisiológicos adversos sobre la salud humana.
- Insolubles o de baja solubilidad en rangos de pH comunes en la práctica del tratamiento de agua. Esto es necesario con el objetivo de tener un eficiente proceso de coagulación y ser capaz de dejar la menor cantidad posible del residuo del químico en el agua tratada (Wang y otros, 2004).

1.3.2.2.3. COAGULANTES A BASE DE ALUMINIO

Cuando son añadidas al agua, sales acuosas de hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$ se disocian en sus respectivos iones trivalentes, por ejemplo: Al^{3+} . Después de que se hidrolizan y forman varios complejos solubles que poseen altas cargas positivas, estas serán adsorbidas sobre la superficie de los coloides cargados negativamente, promoviendo la agregación inicial de las partículas coloidales para formar microfloculos (Siah y otros, 2014 y Sher y otros, 2013).

- **Sulfato de Aluminio:** Es una sal inorgánica metálica multivalente, conocido como Alumbre, es un coagulante tradicional muy ampliamente utilizado por su bajo costo, fácil uso, manejo y almacenamiento (Siah y otros, 2014 y Sher y otros, 2013).

1.3.2.3. FLOCULACIÓN

1.3.2.3.1. FACTORES DE INFLUENCIA

A. Dosis optima de polímero: El punto a partir del cual el polímetro no es totalmente adsorbido corresponde a la dosis optima, 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 (García y otros, 2012).

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.

De cualquier modo, es necesario siempre un óptimo estado de agitación para lograr que las partículas se acerquen lo suficiente para formar puentes de enlace y formar los agregados (García y otros, 2012).

C. Peso molecular del polímero: El peso molecular es una de las propiedades que caracterizan a un polímero y determinan la eficacia de la floculación. Con un polímero de mayor peso molecular se produce un aumento en la relación óptima polímero/sólidos, es decir, mayor número de moléculas pueden ser adsorbidas y utilizadas por las partículas.

Con un aumento del peso molecular se optimiza la dosis de polímero y se incrementa la velocidad de sedimentación (García y otros, 2012).

D. Superficie de los sólidos: La dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido, es decir, al aumentar de tamaño o superficie la partícula se reduce la dosis de floculante (García y otros, 2012).

1.3.2.3.2. FLOCULANTES

El proceso de coagulación no es siempre perfecto ya que puede resultar pequeños coágulos frágiles que se rompen cuando se someten a fuerzas físicas (Siah y otros, 2014). Por esto muchos productos denominados ayudantes de coagulantes (floculantes), pueden ser usados para actuar sobre los elementos que afectan la coagulación o con el objetivo de incrementar la densidad del flóculo,

hacerlos resistente a la ruptura y por tanto, mejorar la sedimentación (Aguilar y otros, 2005).

A. FLOCULANTES NATURALES

Floculantes orgánicos sintéticos basados en polisacáridos o polímeros naturales, entre los cuales tenemos almidones y sus derivados, polisacáridos de compuestos celulósicos, ciertos compuestos proteínicos. (Siah y otros, 2014 y García y otros, 2012).

B. FLOCULANTES SINTÉTICOS

Son moléculas de cadenas largas compuestas de pequeñas sub-unidades o unidades monoméricas (Wang y otros, 2004).

Los floculantes poliméricos pueden variar en peso molecular, estructura (lineal vs ramificada), cantidad de carga, tipo de carga y la composición, pero generalmente, los polímeros sintéticos están clasificados en 3 formas:

- Catiónicos (positivamente cargados),
- Aniónicos (negativamente cargados),
- No iónico (carga neutra).

Estrictamente los iónicos son señalados como polielectrolitos. La naturaleza de la carga de los floculantes poliméricos sintéticos es el principal parámetro que tendrá un efecto significativo sobre la eficiencia del proceso de floculación seguido por el peso molecular y la densidad de carga (Siah y otros, 2014)

1.3.2.4. COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN

La coagulación- floculación es una de las tecnologías más ampliamente utilizadas a escala industrial para el tratamiento de aguas residuales (Siah y otros, 2014 y Sher y otros, 2013). El color y la turbidez del agua se deben a la presencia de partículas de diámetro muy pequeño: los coloides. 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 microfloculos, mientras el floculante engloba estos

microflóculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimentan más fácil y rápidamente (García y otros, 2012).

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto del proceso de coagulación-floculación a diferentes pH, dosificación de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos totales del efluente final del Camal Municipal El Porvenir-Trujillo?

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente proyecto se justifica porque en el Camal Municipalidad El Porvenir se sobrepasan los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA) para algunos parámetros, específicamente me enfoco en el parámetro Sólidos Suspendidos Totales.

Esta situación es debido a que no se aplica ningún tratamiento previo a su efluente final antes de ser vertido, lo que en consecuencia afecta al sistema de alcantarillado sanitario local e incumple la normativa legal ambiental vigente.

En ese sentido, esta investigación busca determinar el efecto de aplicar el proceso de coagulación-floculación evaluando diferentes pH, dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio y floculante aniónico para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales.

1.6. HIPÓTESIS

El efecto del proceso de coagulación-floculación a pH ligeramente ácido, mayor dosificación de coagulante y floculante es óptimo para la remoción de sólidos suspendidos totales del efluente del Camal Municipal El Porvenir-Trujillo.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto del proceso de coagulación-floculación a diferentes pH, dosificación de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos totales del efluente del Camal Municipal El Porvenir-Trujillo a nivel de laboratorio.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de diferentes pH midiendo el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales.
- Determinar el efecto de diferentes dosificaciones del coagulante Sulfato de Aluminio midiendo el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales.
- Determinar el efecto de diferentes dosificaciones del floculante aniónico midiendo el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales.

II. MÉTODO

2.1. VARIABLES

Tabla 1. Variables de la investigación

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLE DEPENDIENTE
pH	Sólidos Suspendedos Totales (SST)
Dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio	
Dosificación de floculante aniónico	

Fuente: Elaboración propia

2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Diseño experimental: Diseño experimental puro: Diseño factorial

Tabla 2. Diseño factorial 3x3x3

	B_1			B_2			B_3		
	40mL/L			50mL/L			60mL/L		
	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3
	1mL/L	2mL/L	3mL/L	1mL/L	2mL/L	3mL/L	1mL/L	2mL/L	3mL/L
A_1 pH 4	$A_1B_1C_1$	$A_1B_1C_2$	$A_1B_1C_3$	$A_1B_2C_1$	$A_1B_2C_2$	$A_1B_2C_3$	$A_1B_3C_1$	$A_1B_3C_2$	$A_1B_3C_3$
A_2 pH 6	$A_2B_1C_1$	$A_2B_1C_2$	$A_2B_1C_3$	$A_2B_2C_1$	$A_2B_2C_2$	$A_2B_2C_3$	$A_2B_3C_1$	$A_2B_3C_2$	$A_2B_3C_3$
A_3 pH 8	$A_3B_1C_1$	$A_3B_1C_2$	$A_3B_1C_3$	$A_3B_2C_1$	$A_3B_2C_2$	$A_3B_2C_3$	$A_3B_3C_1$	$A_3B_3C_2$	$A_3B_3C_3$

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

A_1 : pH ligeramente básico

A_2 : pH original de la muestra

A_3 : pH ácido

B_1 : Dosificación de 40mL de coagulante Sulfato de Aluminio

B_2 : Dosificación de 50mL de coagulante Sulfato de Aluminio

B_3 : Dosificación de 60mL de coagulante Sulfato de Aluminio

C_1 : Dosificación de 1mL de floculante aniónico

C_2 : Dosificación de 2mL de floculante aniónico

C_3 : Dosificación de 3mL de floculante aniónico

2.3. OPERACIONALIZACIÓN

Tabla 3. Operacionalización de variables y sub variables de la investigación

VARIABLES	Sub Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de Medición
Proceso de coagulación - floculación	pH	El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidrógeno en una disolución (García, 2012).	Se empleará ácido clorhídrico (HCl) para llevar el pH original de la muestra a un medio ligeramente ácido, e hidróxido de sodio (NaOH) para llevar el pH a un medio ligeramente básico.	pH ácido pH original de la muestra pH ligeramente básico	Cuantitativa de razón
	Dosificación de Coagulante	Sulfato de Aluminio: es un coagulante tradicionalmente utilizado por su bajo costo, fácil uso, manejo y almacenamiento (Siah y otros, 2014 y Sher y otros, 2013).	Luego de obtener la solución líquida del Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ granular) a una concentración de 15000 ppm, se procedió a medir con pipetas las dosis requeridas.	Mililitros de Sulfato de Aluminio en solución líquida de 15000 ppm por litro de muestra.	Cuantitativa de razón
	Dosificación de Floculante	Floculante aniónico: Son polímeros sintéticos iónicos cargados negativamente con moléculas de cadenas largas compuestas de pequeñas sub-unidades (Wang y otros, 2004).	Luego de obtener la solución líquida del Floculante aniónico (granular) a una concentración de 1000 ppm, se procedió a medir con pipetas las dosis requeridas.	Mililitros de Floculante aniónico en solución líquida de 1000 ppm por litro de muestra.	Cuantitativa de razón

Remoción de Sólidos Suspendidos Totales		La operación de remoción de sólidos es parte principal en el tratamiento del agua, para lo cual el proceso de coagulación-floculación es una de las operaciones para este fin (Wang y otros, 2004).	Se verterá la muestra en el papel filtro previamente pesado, luego se secará el papel filtro con los sólidos y se pesará. Con estos datos, se ejecutará la ecuación y se hallará los Sólidos Suspendidos Totales en ppm (partes por millón).	Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales	Cuantitativa de razón
---	--	---	--	---	-----------------------

Fuente: Elaboración propia

2.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

▪ Población

Efluente final del Camal Municipal El Porvenir.

▪ Muestra

110 L de agua del efluente final del Camal Municipal El Porvenir.

▪ Unidad de análisis

1 L de la muestra

2.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Tabla 4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS DE LABORATORIO
Separación de sólidos grandes	Malla
Medición del pH	pH-metro
Agitación	Test de jarras
Pesaje	Balanza analítica
Medición de Sólidos Suspendidos	Guía de análisis en laboratorio
Secado	Estufa Eléctrica
Observación	Formato de toma de datos

Fuente: Elaboración propia

Los datos que se obtendrán en la presente investigación se registrarán en un Formato de toma de datos. Por otro lado, los equipos a utilizar serán previamente calibrados para evitar errores al momento de la

ejecución experimental en laboratorio. Así como también, se considerará utilizar el método estadístico ANOVA para el análisis de resultados.

2.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

2.6.1. METODOLOGÍA

Con los materiales de campo necesarios se procedió ir al Camal Municipal El Porvenir, a fin de tomar la muestra respectiva del efluente final, cabe mencionar que se asistió tres días, la primera visita fue para la caracterización de la muestra, y las dos siguientes para realizar los análisis de la investigación. En laboratorio, se pasó el agua obtenida a través de malla N°60 (0.250 mm) para evitar la presencia de sólidos de gran tamaño. Luego se procedió a caracterizar la muestra para conseguir datos como DBO, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, pH y temperatura, estos análisis fueron realizados en el laboratorio de química de la Universidad César Vallejo.

Posteriormente se manipuló el pH original de la muestra de acuerdo al diseño experimental, utilizando Ácido clorhídrico (HCl) e Hidróxido de Sodio (NaOH). Además, se preparó una solución líquida concentrada a 15 000 ppm de coagulante Sulfato de Aluminio. De igual modo, una solución líquida concentrada a 1 000 ppm de floculante aniónico, todo esto a fin de evaluar el efecto del proceso de coagulación-floculación para lo que se empleó un Test de Jarras (Jartest) de 6 jarras de 1 L por ensayo, considerando constantes las siguientes condiciones operacionales:

- Velocidad de mezclado en la coagulación: 80 rpm
- Tiempo de coagulación: 2 min
(Esperando un minuto antes de agregar el floculante)
- Velocidad del mezclado en la floculación: 40 rpm
- Tiempo de floculación: 2 min

Después de aplicar el tratamiento, se realizó la medición del parámetro Sólidos Suspendidos Totales de cada ensayo y se registró en el Formato de toma de datos. Finalmente, se procedió a analizar los resultados

mediante el método estadístico ANOVA. Asimismo, se compararon los resultados obtenidos con los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA).

2.6.2. MATERIALES

2.6.2.1. MATERIALES DE LABORATORIO

- Probeta: 500mL
- Matraz de Erlenmeyer: 500mL
- Vaso de precipitación: 500mL
- Piseta
- Embudos
- Papel filtro
- Malla N° 60 (0.250 mm)

2.6.2.2. EQUIPOS

- pH-metro
- Test de Jarras
- Estufa eléctrica
- Balanza Digital

2.6.2.3. REACTIVOS QUÍMICOS

- Ácido clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Sulfato de Aluminio granulado
- Floculante aniónico (FA) granulado

2.7. ASPECTOS ÉTICOS

Con respecto a la recopilación de datos, fotografías del Camal Municipal El Porvenir y recolección de muestra se respetó la privacidad de la empresa para continuar con la investigación en armonía. Por otro lado, toda la información presente fue citada de acuerdo a la Norma ISO 690 y demás consideraciones que la Universidad César Vallejo tiene en reglamento para su aplicación.

III. RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RECOLECTADA DEL EFLUENTE FINAL DEL CAMAL EL PORVENIR

La Tabla 5 contiene los datos obtenidos de la caracterización del agua recolectada del efluente final del Camal Municipal El Porvenir, que siendo comparados con los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA), sobrepasan para los parámetros: DBO, DQO y Sólidos Suspendidos Totales, éste último considerado variable independiente en la investigación.

Tabla 5. Caracterización de la muestra de agua residual del efluente final del Camal El Porvenir

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA*	VMA**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l	1136	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	5012	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	1208	500
pH	unidad	6.82	6-9
Temperatura	°C	23.4	<35

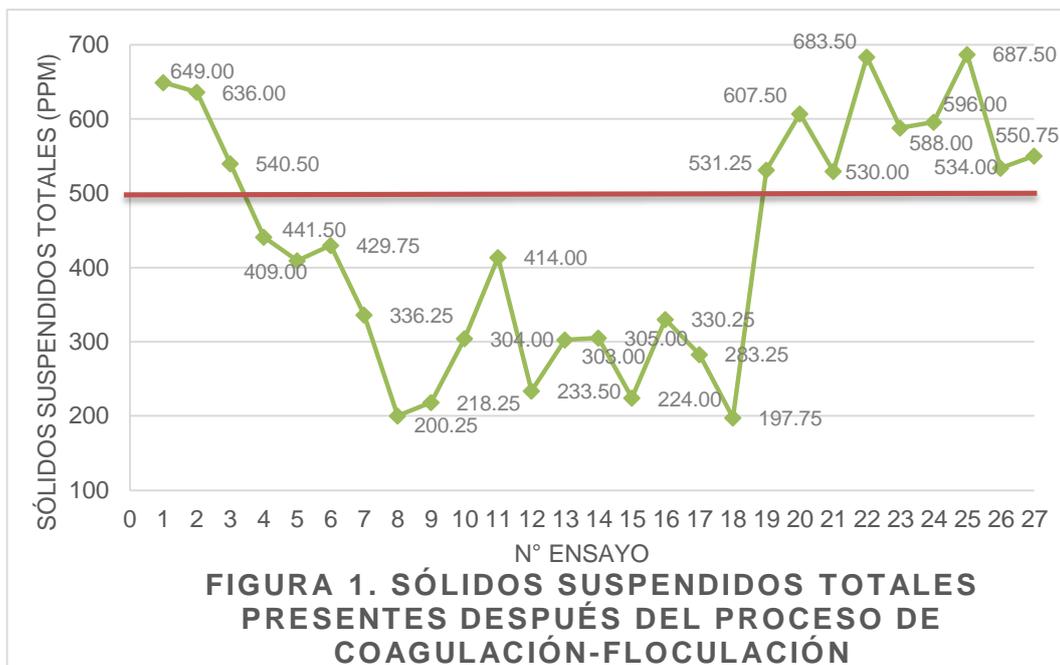
*Datos de la caracterización de la muestra.

**D.S. N° 021-2009-VIVIENDA

Fuente: Elaboración propia

3.2. RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Cada número de ensayo contó con 4 repeticiones según el diseño de investigación, siendo en total 108 ensayos realizados. Es así que, la Figura 1 muestra los promedios de los resultados de cada N° de ensayo, los cuales en un inicio presentaban 1 210 ppm de SST en promedio y después de aplicar el proceso de coagulación-floculación se consiguió que los SST disminuyeran en todos los ensayos. Sin embargo, no todos los ensayos alcanzaron estar por debajo del Valor Máximo Admisible (señalado con una línea roja) para el parámetro SST.



Fuente: Elaboración propia

3.3. DATOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS MEDIANTE EL MÉTODO ESTADÍSTICO ANOVA

Utilizando el programa IBM SPSS Statistics 23 se consiguió analizar los resultados de la investigación mediante el método estadístico ANOVA. Previo a este análisis se consideró cumplir algunas condiciones, tales se describen a continuación:

A. Homogeneidad de varianzas (varianzas iguales):

Se observa en la Tabla 6, el P- valor (Sig.) resultante de la prueba de Levene fue mayor al nivel de significancia (0.01), lo que indica que los resultados fueron obtenidos sobre la base de un muestro aleatorio de una población con varianzas iguales.

Tabla 6. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error

F	df1	df2	Sig.
1,863	26	81	0,018

Fuente: IBM SPSS Statistics 23

B. Las muestras son independientes:

Se observa en la Figura 2, exactamente en la cuadrícula de Residuo estándar (eje y) con lo Observado y Pronosticado (eje x), donde los

puntos se notan dispersos, demostrando así que las muestras son independientes.

C. La distribución es normal:

Se observa en la Figura 2, exactamente en la cuadrícula de Pronosticado y Observado (eje y) con lo Observado y Pronosticado (eje x), que los puntos se ubican formando una línea, demostrando así que la distribución es normal.

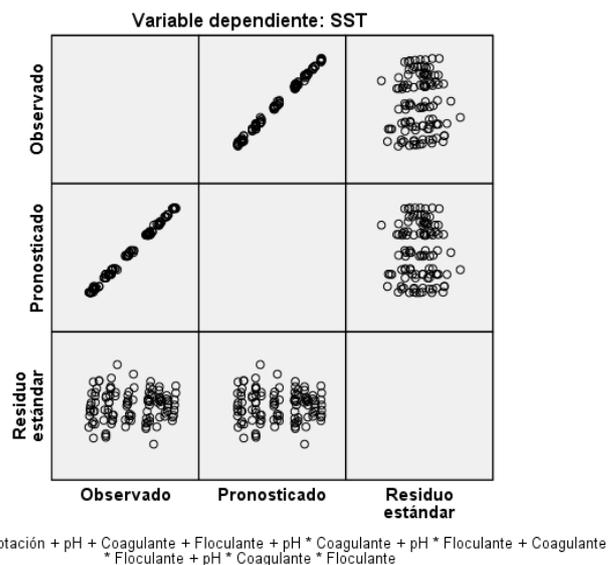


Figura 2. Distribución normal

Fuente: IBM SPSS Statistics 23

Después de asegurar que las condiciones se cumplen se realizó el análisis de varianza de los resultados, teniendo como hipótesis nula (H0) que los ensayos realizados son iguales y como hipótesis alternativa (H1) que al menos uno de los ensayos realizados es diferente; es así como se muestra en la Tabla 7, en la cual se observa el P-valor (Sig.) menor al nivel de significancia (0.01), trabajando a un nivel de confianza de 99%, lo que indica que se rechaza la H0, por lo que se afirma que al menos uno de los ensayos fue diferente además de existir diferencia significativa entre todos los ensayos.

Tabla 7. Análisis de Varianza

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	2733280,167	26	105126,160	1063,505	,000

Intersección	20501602,083	1	20501602,083	207403,724	,000
pH	1639002,389	2	819501,194	8290,455	,000
Coagulante	274849,556	2	137424,778	1390,253	,000
Floculante	125659,389	2	62829,694	635,614	,000
pH *Coagulante	531204,056	4	132801,014	1343,477	,000
pH *Floculante	43478,056	4	10869,514	109,961	,000
Coagulante *	98170,556	4	24542,639	248,285	,000
Floculante					
pH* Coagulante	20916,167	8	2614,521	26,450	,000
* Floculante					
Error	8006,750	81	98,849		
Total	23242889,000	108			
Total corregido	2741286,917	107			

Fuente: IBM SPSS Statistics 23

3.4. EFECTO DEL pH CON EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SST

En la Figura 3 se observa que a pH 6 se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de SST en los ensayos, también cabe mencionar que todos los ensayos realizados con pH 6 no sobrepasaron el VMA para el parámetro SST. Respecto a lo antes mencionado, los datos estadísticos mostraron que según el test HSD de Tukey, el test Duncan y la Prueba Scheffé (Anexo 3- Tabla 9. Prueba post hoc para pH) al comparar los tres valores de pH de la investigación, coincidieron en elegir el pH 6.

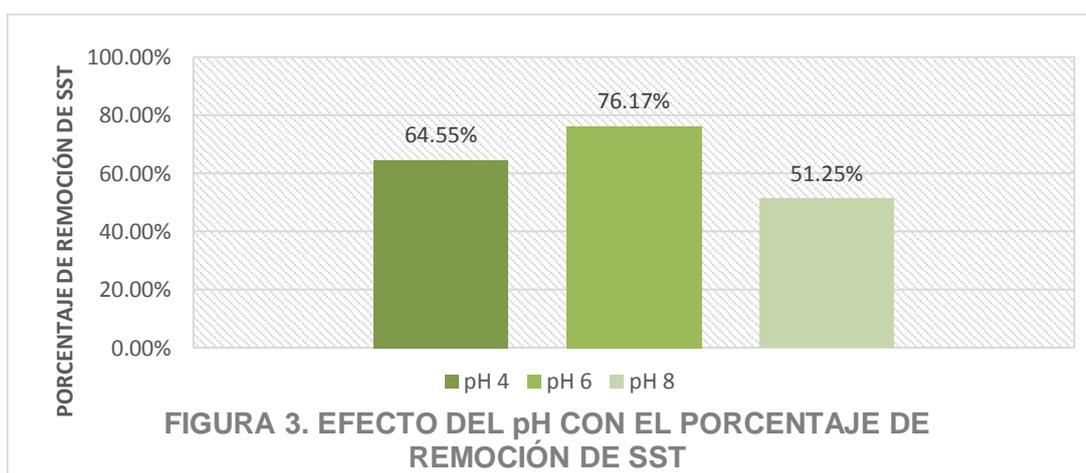


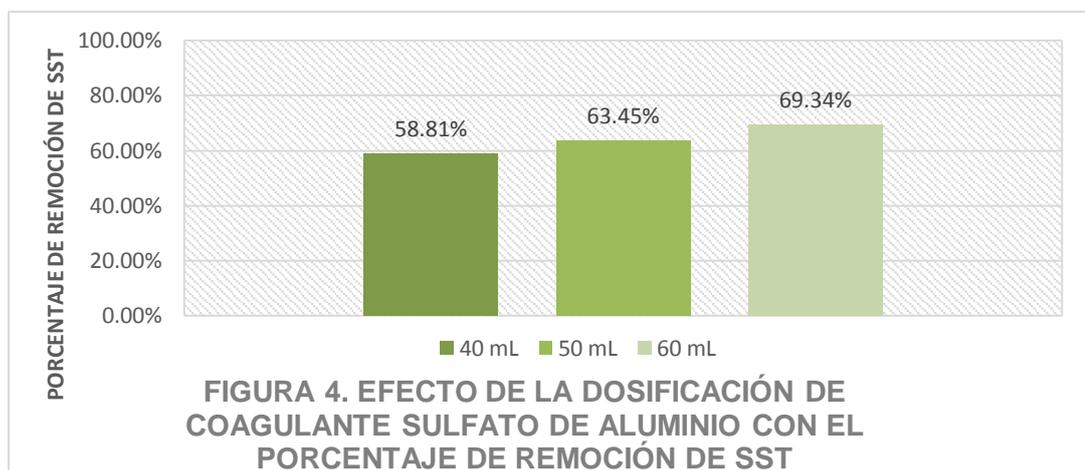
FIGURA 3. EFECTO DEL pH CON EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SST

Fuente: Elaboración propia

3.5. EFECTO DE LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO CON EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SST

En la Figura 4 se observa que a una dosificación de 60 mL de coagulante Sulfato de Aluminio se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de SST en

los ensayos. De igual forma, los datos estadísticos mostraron que según el test HSD de Tukey, el test Duncan y la Prueba Scheffé (Anexo 3- Tabla 10. Prueba Post Hoc para Dosificación de Coagulante) al comparar las tres dosificaciones de coagulante de la investigación, coincidieron en elegir la dosificación de 60 mL.



Fuente: Elaboración propia

3.6. EFECTO DE LA DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE ANIÓNICO CON EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SST

En la Figura 5 se observa que a una dosificación de 3 mL se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de SST en los ensayos. Asimismo, los datos estadísticos mostraron que según el test HSD de Tukey, el test Duncan y la Prueba Scheffé (Anexo 3- Tabla 11. Prueba Post hoc para dosificación de floculante) al comparar las tres dosificaciones de floculante aniónico, coincidieron en elegir la dosificación de 3 mL.



Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo en cuenta manejar tres variables independientes: pH, dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio y dosificación de floculante aniónico tales que resultaron conseguir sus valores en el efecto óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales, considerando ello por lo que mencionan Kumar y otros (2012) que la eficacia del proceso de coagulación - floculación depende de diversos factores incluyendo el tipo de coagulante, dosis, valor de pH, temperatura, naturaleza y concentración de materia orgánica, sólidos disueltos totales, tamaño y distribución de las partículas coloidales.

En la Figura 1 se observan los resultados de los ensayos después del proceso de coagulación-floculación, en el que se percibe que no todos los ensayos llegaron a disminuir los Sólidos Suspendidos Totales a tal punto de no sobrepasar el Valor Máximo Admisible (VMA) del agua residual de usuarios no domésticos en el alcantarillado sanitario para el parámetro Sólidos Suspendidos Totales para el parámetro en cuestión, según como señala el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. Respecto a ello, se discute la necesidad de obtener el efecto del proceso de coagulación-floculación considerando diferentes pH, dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio y dosificación de floculante aniónico a fin de encontrar el óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra, determinando así dichas condiciones de acuerdo a los resultados de los ensayos en la investigación. Para justificar lo antes mencionado se comparte que según Ahmad y otros (2008) la eficacia de remoción es altamente dependiente del control de la dosis de coagulante y el rango de pH. Por consiguiente, se ha puesto demasiado cuidado en la discriminación de los valores de cada variable.

Para el análisis de los resultados de la investigación se utilizó el método estadístico ANOVA, teniendo en cuenta consideraciones (Homogeneidad de varianzas, muestras independientes y distribución

normal) conocidas como bondad de ajuste, tales que nos permitieron realizar el análisis de varianza con total seguridad. Es así, que en la Tabla 7 el análisis de varianza permitió conocer la existencia de diferencias significativas que presentaron los datos de la investigación, para demostrar que las variables independientes influyeron en la variable dependiente (Sólidos Suspendidos Totales).

La Figura 3 indica que los ensayos que mantuvieron el pH original de la muestra (pH 6) fueron los que consiguieron un mayor porcentaje de remoción de SST. Para corroborar este resultado se contrasta con la investigación de Ahmad y otros (2008), quienes usando un pH 6 consiguieron la mejor reducción de Sólidos Suspendidos Totales. Así también como Chowdhury y otros (2013) concluyeron en su artículo científico que a dosis cercanas al pH neutro se obtienen los mejores porcentajes de remoción. Por lo que podemos decir que el efecto del proceso de coagulación-floculación a pH 6 es óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra.

De acuerdo a los ensayos que tuvieron un pH ligeramente básico (pH 8) es importante mencionar que el ensayo N° 22 es el que presenta el menor porcentaje de remoción de SST, teniendo en sus repeticiones 43.50%, 44.49%, 43.77% y 42.28%, situación que es debido a no tener pH ligeramente ácido. Además, se rescata que ningún ensayo con pH 8 consiguió cumplir el Valor Máximo Admisible (VMA) del agua residual de usuarios no domésticos en el alcantarillado sanitario para el parámetro Sólidos Suspendidos Totales. Es así que se afirma que, no existe efecto óptimo del proceso de coagulación-floculación a pH relativamente básico (pH 8) para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra en esta investigación.

En la Figura 4 se observa que los ensayos en los que se usó 60 mL de coagulante Sulfato de Aluminio fueron los que consiguieron un mayor porcentaje de remoción de SST, siendo 79.21% el mejor resultado.

Para darle mayor sustento a este resultado, se destaca que Rodríguez y Zapata (2015) en su investigación usando el coagulante Sulfato de Aluminio obtuvieron porcentajes de remoción de 63% en la etapa de Remojo y 60% en la etapa de Pelambre de una muestra obtenida de curtiembre. Así mismo, Haydar y Aziz (2009) en su estudio declaran al Sulfato de Aluminio como el coagulante apropiado para el tratamiento de aguas residuales obteniendo porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos de 94.3%- 97.1%. Obtener este resultado se basa en la teoría de Ahmad y otros (2008) quienes concluyeron que la dosis de coagulante es uno de los factores que juegan un papel importante en la determinación de la eficiencia de la coagulación. Por lo que decimos que el efecto del proceso de coagulación-floculación a dosificación de 60 mL es óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra.

Cabe mencionar que, la solución de coagulante Sulfato de Aluminio usado en esta investigación tuvo una concentración de 15 000 ppm, justificándonos según Bajza y otros (2004) quienes en su investigación indican que un incremento en las concentraciones de Sulfato de Aluminio resulta en una mayor velocidad de sedimentación y parámetros ambientales más aceptables, por lo que es importante encontrar un dosis adecuada. Debido a ello, se consideró apropiada usar dicha concentración, por otro lado, fue el resultado de pruebas preliminares realizadas antes de comenzar el desarrollo de la investigación.

Se puede apreciar en la Figura 5 que los ensayos en los que se usó 3 mL de floculante aniónico fueron los que tuvieron un mayor porcentaje de remoción de SST, consiguiendo 83.66% en el mejor resultado, demostrando así que el efecto del proceso de coagulación-floculación a dosificación de 3 mL de floculante aniónico es óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra.

Finalmente, se consiguió que el ensayo que tuvo todas éstas condiciones según las variables de la investigación y los resultados del efecto del proceso de coagulación-floculación fue el ensayo N° 18, el cual además de presentar los mayores porcentajes de remoción, teniendo en sus repeticiones 83.14%, 83.72%, 84.05% y 83.72%, tuvo pH original de la muestra (pH 6), dosificación de 60 mL de coagulante Sulfato de Aluminio y 3 mL de floculante aniónico.

V. CONCLUSIONES

1. En la determinación del efecto de diferentes pH, el que demostró el efecto óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra obtenida del efluente final del Camal Municipal El Porvenir, fue el pH 6, pH relativamente ácido, con 76.17% de remoción.
2. Asimismo, en la determinación del efecto de diferentes dosificaciones de coagulante Sulfato de Aluminio, el que demostró el efecto óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra obtenida del efluente final del Camal Municipal El Porvenir, fue la dosificación de 60 mL con 79.21% de remoción.
3. Por otra parte, en la determinación del efecto de diferentes dosificaciones del floculante aniónico, el que demostró el efecto óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra obtenida del efluente final del Camal Municipal El Porvenir, fue la dosificación de 3 mL con 83.66% de remoción.
4. Finalmente, se concluye que el efecto del proceso de coagulación-floculación con estas condiciones es óptimo para la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de la muestra obtenida del efluente final del Camal Municipal El Porvenir, refiriéndose así al ensayo N° 18, que realizado a pH 6, dosificación de 60 mL de coagulante Sulfato de Aluminio y 3 mL de floculante aniónico, obtuvo el mayor porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos de 83.66% de acuerdo a los resultados de esta investigación.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para las próximas investigaciones que se den en el mismo lugar (Camal Municipal El Porvenir) se tome en cuenta definir previamente el pH original de la muestra (pH 6), de manera que en su lugar se sustituya por la variable tiempo, así también se agregue la variable velocidad de agitación, para que de esta manera se pueda ampliar la investigación respecto a los resultados conseguidos hasta el momento.
2. Por consiguiente, se recomienda utilizar además otro tipo de coagulante, como por ejemplo Policloruro de Aluminio (PAC), con el objetivo de comparar el efecto de los dos tipos de coagulante en la remoción de Sólidos Suspendidos Totales.
3. De igual modo, se recomienda considerar el análisis de los parámetros DBO y DQO, ya que actualmente en el lugar de la investigación, también incumplen los Valores Máximos Admisibles del agua residual de usuarios no domésticos en el alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N.º 021-2009-VIVIENDA) para estos dos parámetros.
4. Para finalizar, se recomienda evaluar el volumen de lodos generados después del proceso de coagulación-floculación, de manera que se pueda considerar un método ambientalmente responsable para desecharlo.

VII. REFERENCIAS

AGUILAR M., SÁEZ J., LLORÉNS M., SOLER A., ORTUÑO J.F., MESEGUER V. y FUENTES A. Improvement of coagulation- flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. *Chemosphere*, (58): 47- 56.

AHMAD A., WONG S., TENG T., ZUHAIRI A. Improvement of alum and PAC 1 Coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater. *Chemical Engineering Journal*, (137):510-517.

BAJZA, Eljko; HITREC, Petra y MUIC, Marko. Influence of different concentrations of $Al_2(SO_4)_3$ and anionic polyelectrolytes on tannery wastewater flocculation” *Desalination*, (171): 13- 20.

BECERRA-GUTIÉRREZ, Lizzie Karen; HORNA-ACEVEDO, María Valeria y BARRIONUEVO-ALBÚJAR, Katya Irma. Nivel de contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región la Libertad. *Rev. Del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*. Vol. 7. (3): 23-26, 2014.

BUSTILLO-LECOMPTE, Ciro y MEHRVAR, Mehrab. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of Environmental Management* (161): 287- 302, 2015.

CHOWDHURY, Manjushree; MOSTAFA, M.G., KUMAR BISWAS, Tapan y KUMAR SAHA, Ananda. Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. *Water Resources and Industry*, (3):11-22.

DAUD, Zawawi; AWANG, Halizah; ABDUL LATIF, Aziz; NASIR, Nazlizan; BAHARUDIN RIDZUAN, Mohd y AHMAD, Zulkifli. 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.

Decreto Supremo N° 021–2009-VIVIENDA. Diario Oficial El Peruano. Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de Aguas Residuales No Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario. Ministerio de la vivienda de construcción y saneamiento, Lima, 19 de Noviembre de 2009.

GARCIA TRUJILLO, Zarela Milagros. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis (Ingeniero Sanitario) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.12 p.

HAYDAR, Sajjad y AZIZ, Javed. Coagulation-flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers. *Journal of Hazardous Materials*, (168): 1035- 1040.

KUMAR VERMA, Akshaya; DASH, Rajesh y BHUNIA, Puspendu. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of color from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, (98): 154- 168.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering Treatment and reuse. 4° ed. 2003. 43 p.

MUÑOZ MUÑOZ, Deyanira. Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: Para una población menor 2000 habitantes. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol. 3. (1): 87-98, 2005.

GARCÍA BERMEJO, Juan; PÉREZ DE LA CRUZ, Francisco Javier y URREA MALLEBRERA, Mario Andrés. Abastecimiento de aguas- Tema 6: Coagulación y floculación. Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2012/02/18/manual-completo-de-abastecimiento-de-agua-universidad-politecnica-de-cartagena/>

RODRÍGUEZ RAMIREZ, Carol y ZAPATA JAUREGUI, Cristina. 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 (Ingeniero Ambiental) Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2015.

RODRÍGUEZ, Suyén; FERNÁNDEZ, Maikel; BERMÚDEZ, Rosa y MORRIS, Humberto. Tratamiento de efluentes industriales coloreados con *Pleurotus* spp. *Iberoamericana de Micología*, (20): 164-168, 2003.

SÁEZ, J. y MARTÍNEZ, A. Caracterización fisicoquímica de efluentes líquidos de mataderos. Correlación de sus parámetros. *Tecnología del Agua*, (38): 77–83, 1987.

SHER, Farooq; MALIK, Atiq y LIU, Hao. Industrial polymer effluent treatment by chemical coagulation and flocculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (1): 684- 689.

SIAH, Chai; ROBINSON, John y FONG CHONG, Mei. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, (92): 489- 508.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. 1ª ed. 2015. 121 p.

WANG, Lawrence; YUNG-TSE HUNG y SHAMMAS, Nazih. Physicochemical Treatment Processes- 4: Coagulation and Flocculation. *Handbook of environmental engineering*, (3): 103- 138.

VIII. ANEXOS

ANEXO N° 01. DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA: Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	500
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁺	80
pH (2)	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables (2)	MI/L/h	S.S.	8.5
Temperatura(2)	°C	T	<35

ANEXO N° 02. Formato de toma de datos experimentales

Tabla 8. Formato toma de datos- Repetición N°

N°	COMBINACIÓN	pH	Dosificación de Coagulante (mL/L)	Dosificación de floculante (mL/L)	SST (ppm)
1	$A_1B_1C_1$	4	40	1	
2	$A_1B_1C_2$	4	40	2	
3	$A_1B_1C_3$	4	40	3	
4	$A_1B_2C_1$	4	50	1	
5	$A_1B_2C_2$	4	50	2	
6	$A_1B_2C_3$	4	50	3	
7	$A_1B_3C_1$	4	60	1	
8	$A_1B_3C_2$	4	60	2	
9	$A_1B_3C_3$	4	60	3	
10	$A_2B_1C_1$	6	40	1	
11	$A_2B_1C_2$	6	40	2	
12	$A_2B_1C_3$	6	40	3	
13	$A_2B_2C_1$	6	50	1	
14	$A_2B_2C_2$	6	50	2	
15	$A_2B_2C_3$	6	50	3	
16	$A_2B_3C_1$	6	60	1	
17	$A_2B_3C_2$	6	60	2	
18	$A_2B_3C_3$	6	60	3	
19	$A_3B_1C_1$	8	40	1	
20	$A_3B_1C_2$	8	40	2	
21	$A_3B_1C_3$	8	40	3	
22	$A_3B_2C_1$	8	50	1	
23	$A_3B_2C_2$	8	50	2	
24	$A_3B_2C_3$	8	50	3	
25	$A_3B_3C_1$	8	60	1	
26	$A_3B_3C_2$	8	60	2	
27	$A_3B_3C_3$	8	60	3	

ANEXO N° 03. Datos obtenidos del análisis de los resultados mediante el método estadístico ANOVA

Fuente: IBM SPSS Statistics 23

Tabla 9. Pruebas post hoc para pH

pH	N	Subconjunto			
		1	2	3	
HSD Tukey ^{a,b}	6	36	288,3056		
	4	36		428,9444	
	8	36			589,8333
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan ^{a,b}	6	36	288,3056		
	4	36		428,9444	
	8	36			589,8333
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Scheffe ^{a,b}	6	36	288,3056		
	4	36		428,9444	
	8	36			589,8333
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 10. Pruebas post hoc para dosificación de coagulante

Coagulante	N	Subconjunto			
		1	2	3	
HSD Tukey ^{a,b}	60 ml	36	370,9167		
	50 ml	36		442,1944	
	40 ml	36			493,9722
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan ^{a,b}	60 ml	36	370,9167		
	50 ml	36		442,1944	
	40 ml	36			493,9722
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Scheffe ^{a,b}	60 ml	36	370,9167		
	50 ml	36		442,1944	
	40 ml	36			493,9722

Sig.		1,000	1,000	1,000
------	--	-------	-------	-------

Tabla 11. Prueba post hoc para dosificación de floculante

Floculante	N	Subconjunto		
		1	2	3
HSD Tukey ^{a,b}	3 ml	36	391,1667	
	2 ml	36		441,8889
	1 ml	36		474,0278
	Sig.		1,000	1,000
Duncan ^{a,b}	3 ml	36	391,1667	
	2 ml	36		441,8889
	1 ml	36		474,0278
	Sig.		1,000	1,000
Scheffe ^{a,b}	3 ml	36	391,1667	
	2 ml	36		441,8889
	1 ml	36		474,0278
	Sig.		1,000	1,000

ANEXO N° 04. Fotos de la toma de muestra de agua residual del efluente final del Camal Municipal El Porvenir, Trujillo

Fotografía 1. Efluente final del Camal Municipal El Porvenir



Fotografía 2. Toma de muestra del efluente final del Camal Municipal El Porvenir



Fotografía 3. Sala de reposo de carne a distribuir del Camal Municipal El Porvenir



ANEXO N° 04. Fotos de la Caracterización de la muestra de agua residual del efluente final del Camal Municipal El Porvenir

Fotografía 5. Muestra de agua del efluente final del Camal Municipal El Porvenir



Fotografía 4. Medición de pH de la muestra de agua del efluente final del Camal Municipal El Porvenir



Fotografía 6. Medición de SST de la muestra de agua del efluente final del Camal Municipal El Porvenir



Fotografía 7. Medición de DBO y DQO de la muestra de agua del efluente final del Camal Municipal El Porvenir



ANEXO N° 05. Fotos del procedimiento experimental de la investigación

Fotografía 8. Pesaje del coagulante y floculante (granulado) para conseguir la solución líquida de cada uno de ellos



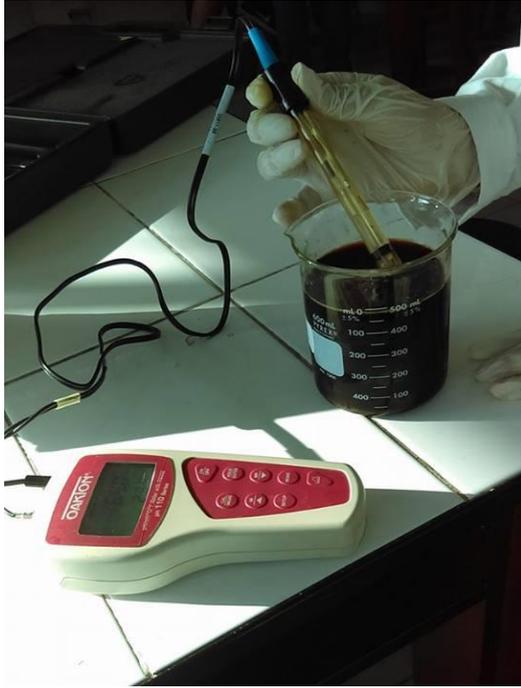
Fotografía 9. Obtención de la solución de Sulfato de Aluminio a concentración de 15000 ppm y floculante aniónico a 1000 ppm



Fotografía 10. Separación de sólidos grandes, el agua recolectada pasada a través de la malla N°60



Fotografía 11. Medición del pH modificado en la muestra de agua recolectada



Fotografía 13. Reactivos químicos para la modificación del pH de la muestra de agua recolectada



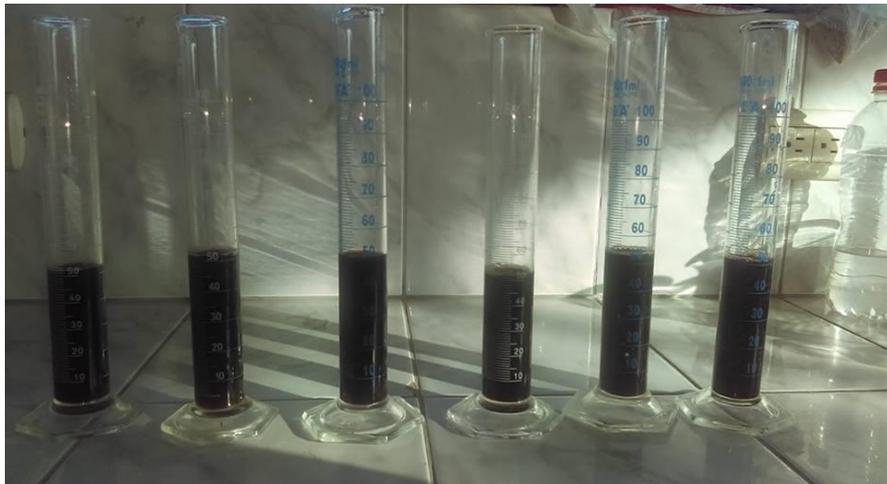
Fotografía 14. Muestra de agua recolectada con pH modificados de 4 y 8, manteniendo el pH original de la muestra de 6



Fotografía 15. Test de jarra para simular el proceso de coagulación-floculación



Fotografía 16. Después del proceso de coagulación-floculación



Fotografía 17. Proceso de filtración para medir SST

