



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE CONTENEDORES REFRIGERADOS DEL ALMACÉN M.P.S.A.R.C.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Ana Paula Revolledo Chaparro

Asesor:

MSc. Margeo J. Chuman Lopez

Lima - Perú

2021

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor MSc. Margeo J. Chuman Lopez, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de la estudiante:

- Revolledo Chaparro Ana Paula

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “Sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la reducción de los parámetros físicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.” para aspirar al título profesional de: Ingeniero Ambiental por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, AUTORIZA al o a los interesados para su presentación.

MSc. Margeo J. Chuman Lopez
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante Revolledo Chaparro Ana Paula para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “Sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la reducción de los parámetros físicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.”

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico Dios por brindarme apoyo espiritual y fuerzas para superar cada obstáculo en mi vida y poder continuar en este proceso para obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mi madre Mónica Chaparro Espinoza, a mis abuelos Máxima Espinoza Cornelio y Rolando Chaparro Cañari por su amor, esfuerzo, apoyo incondicional e inculcarme valores a lo largo de mi vida, que sumaron a convertirme en una gran persona y profesional.

A mi tío abuelo Amós Otrera Chaparro por su apoyo, aliento y acompañarme en este trayecto.

A mi hermana Fatima Geraldine Revolledo Chaparro porque te quiero infinitamente.

A mis mascotas Kathy, Osa y Mía porque me brindaron su compañía y amor desde que llegaron a mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas.

A mi Madre y a mis abuelos que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo para lograr mis objetivos.

A mi hermana porque fue un motivo para seguir avanzando y ser su ejemplo a seguir.

A mi asesor por brindar sus conocimientos y colaboración para culminar esta tesis.

Finalmente, a todos los que fueron mis docentes que, con su conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN.....	x
SUMMARY	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad Problemática.....	12
1.2. Bases teóricas.....	20
1.3. Formulación del Problema	45
1.4. Justificación.....	45
1.5. Objetivos	47
1.6. Hipótesis	48
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	49
2.1. Población y muestra.....	49
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	50
2.3. Procedimiento	53
CAPÍTULO III. RESULTADOS	65
3.1. Caracterización inicial del agua residual.....	65
3.2. Análisis estadístico del proceso de Coagulación-Floculación	65
3.3. Dosis óptima de cada coagulante para el mayor porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y turbidez.....	69
3.4. Análisis estadístico del proceso de adsorción	72
3.5. Reducción de los parámetros fisicoquímicos las aguas residuales después del tratamiento por el sistema de Coagulación-Floculación y Adsorción	75
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	77
4.1. Discusión.....	77
4.2. Conclusiones.....	82
4.3. Recomendaciones	83
REFERENCIAS.....	84
ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Técnica e instrumentos de recolección de datos</i>	52
Tabla 2 <i>Metodología aprobada por INACAL y utilizada por ALAB</i>	53
Tabla 3 <i>Factores y niveles del proceso de coagulación-floculación</i>	55
Tabla 4 <i>Diseño factorial del experimento en coagulación-floculación</i>	56
Tabla 5 <i>Característica del vial para rango alto</i>	59
Tabla 6 <i>Factores y niveles del proceso de adsorción</i>	61
Tabla 7 <i>Ficha de toma de datos de los experimentos (diseño factorial)</i>	61
Tabla 8 <i>Caracterización Inicial del Agua Residual</i>	65
Tabla 9 <i>Resultados del proceso de Coagulación-Floculación</i>	66
Tabla 10 <i>Resultados del proceso de Adsorción</i>	72
Tabla 11 <i>Reducción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después del tratamiento por Coagulación-Floculación y Adsorción</i>	76

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Toma de muestras del agua residual proveniente del lavado de contenedores refrigerados.	55
<i>Figura 2.</i> Proceso de Coagulación-Floculación aplicando Cloruro Férrico.	58
<i>Figura 3.</i> Diagrama de procesos de coagulación-floculación y adsorción aplicado en la investigación.	62
<i>Figura 4.</i> Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación.	64
<i>Figura 5.</i> Probabilidad normal.	67
<i>Figura 6.</i> Varianza constante.	67
<i>Figura 7.</i> Prueba de Independencia.	68
<i>Figura 8.</i> Diagrama de Pareto.	68
<i>Figura 9.</i> Análisis de Varianza (ANOVA) sobre remoción de DQO (%).	69
<i>Figura 10.</i> Efectos principales para la remoción de DQO (%).	70
<i>Figura 11.</i> Gráfica de interacción.	70
<i>Figura 12.</i> Promedio de remoción de turbidez con respecto al tipo y dosis de coagulante.	71
<i>Figura 13.</i> Análisis de Varianza (ANOVA) sobre remoción de Turbidez.	71
<i>Figura 14.</i> Remoción promedio de DQO y Turbidez en el proceso de Adsorción.	72
<i>Figura 15.</i> Prueba T de datos en base a remoción de DQO (%).	73
<i>Figura 16.</i> Prueba T de datos en base a remoción de Turbidez (%).	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Reducción de DQO</i>	24
Ecuación 2 <i>Fórmula para la determinación del volumen de la muestra</i>	49
Ecuación 3 <i>Determinación del volumen de la muestra simple del agua residual del lavado de contenedores refrigerados.</i>	50
Ecuación 4 <i>Determinación de DQO</i>	60

RESUMEN

Las aguas residuales provenientes del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C. son vertidas directamente al sistema de alcantarillado sin previo tratamiento lo cual generaría un daño a la infraestructura sanitaria, así como un impacto ambiental negativo ya que no cumplen con los Valores Máximos Admisibles. El objetivo fue evaluar el sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la reducción de los parámetros físicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados mediante un diseño experimental puro. Se consideró como población 1 m³/h y una muestra de 26 litros. En el proceso de Coagulación – Floculación se empleó Coagulante Orgánico, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio en dosis de 1, 2 y 3 ml/L y dosis constante de 3 ml/L de poliacrilamida aniónica como floculante. En el proceso de adsorción se aplicó 500 g de carbón activado granular evaluando 5 y 10 minutos de contacto. Se determinó que la dosis óptima para cada coagulante fue de 3 ml/L, siendo el Cloruro Férrico el más eficiente, mientras que en el proceso de adsorción se estableció mayor remoción de DQO y turbidez a los 10 minutos de contacto. Tras la culminación del tratamiento del sistema se redujo el 98.11 %, 98.88 %, 99.84 %, 99.50 %, 99.90 % de DBO₅, de DQO, SST y AyG respectivamente; cumpliendo con los Valores Máximos Admisibles.

Palabras clave: Coagulación, floculación, adsorción, aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados.

SUMMARY

Wastewater from the washing of refrigerated containers of the M.P.S.A.R.C. are discharged directly into the sewerage system without prior treatment, which would generate damage to the sanitary infrastructure, as well as a negative environmental impact since they don't meet with the Maximum Admissible Values. The objective was to evaluate the coagulation-flocculation and adsorption system at laboratory level for the reduction of the physicochemical parameters from wastewater reefer containers washing through an experimental design. A population of 1 m³ / h and a sample of 26 liters was considered. In the Coagulation - Flocculation process, Organic coagulant, Ferric Chloride and Aluminum Polychloride were used in doses of 1, 2 and 3 ml/L and a constant dose of 3 ml/L of anionic polyacrylamide as flocculant. Adsorption process 500 g of granular activated carbon was applied evaluating 5 and 10 minutes of contact. The optimal dose for each coagulant was 3 ml/L, and Ferric Chloride was the most efficient; while in the adsorption process, the most reduction of COD and turbidity was after 10 minutes of contact. Finally, after system treatment, 98.11%, 98.88%, 99.84%, 99.50%, 99.90% of BOD₅, COD, TSS and Oils and Greases respectively were reduced; comply with the Maximum Admissible Values.

Keywords: Coagulation, flocculation, adsorption, reefer containers washing wastewater.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Uno de los recursos naturales más importantes e imprescindibles para la vida es el agua. Es un bien valioso y factor indispensable para los ecosistemas debido al intercambio entre los seres vivos y medio ambiente (Díaz, 2016; Moretto, Gentili, Cano, & Campo, 2019). Alrededor del 97.2 % del agua se halla en los océanos, el 2.15 % estaría congelada y el resto está distribuido entre ríos, lagos, aguas subterráneas y vapor de agua, esto quiere decir que menos del 1% está disponible para diversas actividades y necesidades humanas como las domésticas, agrícolas, ganaderas y de uso industrial (Díaz, 2016; Pariente, Segura, Molina, & Martínez, 2020). Este recurso se ve amenazado por su irregular distribución a nivel mundial debido al aumento de la población en los últimos años, por ende, crece la demanda (Pariente et al., 2020). De acuerdo al primer informe de las Naciones Unidas, el 59 % del consumo total en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30 % a consumo agrícola y un 11 % a gasto doméstico (Fernández et al., 2014).

De igual manera, existen muchos problemas ambientales como la contaminación del agua que es generada por la sobre explotación de los recursos hídricos, la gestión inadecuada, las aguas residuales, entre otros (Nafees & Waseem, 2014; Rana & Suresh, 2017). Las aguas residuales pueden provenir de fuentes diversas como los hogares, industrias, minas, etc. cuyas características dependerán de su origen (Organización de las Naciones Unidas, 2017). Las aguas residuales industriales usualmente contienen sólidos en suspensión, metales pesados, hidrocarburos, bacterias y virus fecales, productos químicos orgánicos y materia orgánica que puede estar representado en la demanda química de oxígeno (DQO) (Jones, Freeman, &

Sánchez-Rodríguez, 2017; Meng et al., 2018; Pariente et al., 2020). En los países desarrollados se producen más de un 80 % de aguas residuales a diferencia de los países en vías de desarrollo que generan el 70 % y que requieren tratamiento para reducir su carga contaminante; sin embargo, son vertidos sin previo tratamiento a las redes de alcantarillado (Jones et al., 2017; Loayza, 2017; Velásquez, 2017). Ante ello se ha desarrollado tratamientos de aguas residuales los cuales incorporan transformaciones físicas, químicas y biológicas a fin de mejorar su calidad.

En el Perú diversas industrias gradualmente están implementando métodos de tratamiento ya que la legislación ambiental y las sanciones son cada vez más exigentes; es así que se estableció el Decreto Supremo N° 010-2019—VIVIENDA – Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, donde se constituye los parámetros de los Valores Máximos Admisibles (VMA) y regular el procedimiento para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Los sistemas de alcantarillado de Lima y Callao son deteriorados poco a poco debido a las sustancias de las aguas residuales que no sólo dañan la infraestructura sanitaria sino también atentan contra el ambiente y la salud pública (iAgua, 2014). Por consiguiente, el manejo de aguas residuales es uno de los principales problemas por la limitada cobertura del servicio de alcantarillado; a nivel nacional solo el 32 % de las aguas residuales recibe tratamiento antes de ser vertido a los cuerpos de agua, mientras que en Lima, solo el 20 % del total (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

El terminal M.P.S.A. cuenta con una sede denominada “Reefer Center”, en adelante “M.P.S.A.R.C.”, el cual es un depósito de contenedores refrigerados ubicado en el

distrito del Callao. Uno de los servicios realizados es el lavado de estos contenedores que generan aguas residuales y superan los VMA, ya que se utiliza productos químicos como detergentes y removedor de óxido que contiene como componente principal Ácido fosfórico al 85 %. En el último muestreo realizado en el año 2019, se observa que los parámetros de DQO y el potencial de Hidrógeno (pH) no se encontraban dentro de los VMA (Analytical Laboratory E.I.R.L., 2019); los resultados indicaban que las aguas residuales son ácidas, lo que podría generar daños en la infraestructura, que las tuberías se fracturen o corroen y producir atoros o aniegos; sumado a ello las sanciones impuestas por la entidad fiscalizadora por no cumplir con la normativa. Es así que dentro de la problemática ambiental y posible deterioro de la infraestructura sanitaria, es necesario considerar métodos o procedimientos que permitan disminuir la concentración de contaminantes y tenga un nivel de pH adecuado. A lo largo de los años, se han realizado varios estudios sobre métodos de tratamiento de aguas residuales, por ello en la presente investigación se propone el método de coagulación-floculación y adsorción como metodología principal.

Irfan et al. (2017) y Meng et al. (2018) sostienen que el proceso de coagulación – floculación, en adelante “C-F”, es eficiente para la reducción de DQO, Sólidos Suspendidos Totales (SST) y turbidez por lo que la principal ventaja es que la mayor parte de estos se reducen en el proceso, convirtiéndolo en el más rentable antes del tratamiento secundario. Otro beneficio es el costo del tratamiento ya que remueve diversas sustancias con una inversión menor si se coteja con otros métodos (Lobatón & Hualpa, 2019).

Se puede definir coagulación como un proceso de desestabilización de las partículas coloidales debido a que se neutralizan las fuerzas que los mantienen separados a través

de la adición de reactivo químico (coagulante) y posterior agitación, dando como resultado la formación de partículas de mayor tamaño (Agreda & Domínguez, 2018). Después de este proceso se aplica el método de la floculación, que consta en la agitación de la masa coagulada previamente para agrandar y aglomerar los flóculos, de manera que mediante la agitación lenta se formen otras de tamaño y peso mayor para que puedan sedimentar fácilmente (Andía, 2000). Al finalizar el proceso de C-F, se requiere de la sedimentación el cual es uno de los más aplicados en el tratamiento del agua para lograr su clarificación (Charapaqui, 2019), pues suprime las partículas que tienen una densidad similar a la del agua y no pudieron ser removidas en el proceso anterior (Chambi, 2018).

Por otro lado, la adsorción es un proceso mediante el cual una sustancia se transfiere de la fase líquida a la superficie de un sólido (Meng et al., 2018), puede eliminar compuestos de color, olor, sabor y contaminantes orgánicos; tras un tratamiento biológico o un tratamiento físico y químico, se puede utilizar como tratamiento terciario para mejorar la calidad de las aguas residuales (Chambi, 2018). Generalmente, el carbón activado es útil para adsorber compuestos orgánicos disueltos y es aplicado en el proceso de adsorción ya que logra eliminar hasta el 90% de la materia orgánica disuelta (Romero, 2006), debido a su gran superficie y su estructura microporosa y su reactividad superficial (Li, Hua, Zhou, Zhang, & Li, 2010).

Pese a los beneficios presentados, los procesos propuestos pueden presentar una serie de inconvenientes. Por parte de la C-F puede producirse un exceso de lodo y, en ciertos casos, la utilización de coagulantes convencionales puede provocar el aumento de la concentración de aluminio o hierro (Trebouet, Schlumpf, Jaouen, & Quemeneur,

2001). Mientras que en la adsorción, los principales inconvenientes son la necesidad de una regeneración frecuente y el alto consumo de carbón activado (Li et al., 2010). Ante lo mencionado, el sistema combinado de C-F- y adsorción reducir dichos inconvenientes pues la C-F disminuye la carga de materia orgánica para su posterior adsorción disminuyendo así el consumo de carbón activado.

Por tanto, esta investigación puede ser un método prometedor para el tratamiento de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados porque se busca remover la mayor cantidad de materia orgánica, sólidos suspendidos totales, turbidez, aceites y grasas; así como determinar los materiales, insumos, equipos y metodologías para hallar el tratamiento óptimo e implementarlo posteriormente a gran escala.

Entre antecedentes internacionales se han realizado estudios en diversas industrias, por ejemplo en muestras de lixiviados teniendo en cuenta tres factores (1) número de revoluciones, (2) tiempo de agitación y (3) tiempo de sedimentación, destacando Long et al. (2017) usando 5g/L FeCl_3 como coagulante y 0.07 g/L de poliacrilamida como floculante, obtuvo una reducción del 82 % de DQO. Del mismo modo, Oloibiri et al. (2015) redujo el 66 % de DQO y 97% de turbidez a una concentración de 1400 mg/L con FeCl_3 , mientras que con el PAC se logró 58 % de reducción de DQO con 1000 mg/L y 81% de turbidez con solo 200 mg/L pues un aumento adicional en la concentración de coagulante PAC no produjo cambios significativos. Luego, al aplicar la secuencia de C-F y adsorción con carbón activo granular (CAG) logró la eliminación del 53 % de DQO, demostrando que el pretratamiento del lixiviado aumenta la capacidad de adsorción hacia la eliminación de DQO. De manera similar, Li et al. (2010) logró una reducción de DQO de 65 % con FeCl_3 ; y 61% con PAC y después de usar carbón activado en polvo (CAP) se redujo el 86 % de DQO. En

cambio, Mohammad-pajoo et al. (2018) redujo el 71 % de DQO con 20 g/L de CAG y 8 horas de contacto. Foo et al. (2013) y Meng et al. (2018) aplicaron variadas dosis de CAG para tratar aguas residuales, coincidieron en que a mayor dosis de adsorbente, la reducción de DQO incrementaba; no obstante, al llegar a cierto valor la eficiencia de reducción ya no aumentaba. Además, indican que el factor tiempo de contacto influye en el proceso de adsorción, por lo que es suficiente el periodo de 5 minutos para conseguir resultados.

Por otra parte, en la industria textil, Dotto, Fagundes-Klen, Veit, Palácio, & Bergamasco (2019) aplicó dos coagulantes orgánicos extraídos de la moringa oleifera “MO-NaCl” y “MO-KCl” obteniendo una reducción de 50 % y 62 % de turbidez y 60.2 % y 62.9 % de DQO respectivamente. Además, determinó que el pH del agua residual influye en la disminución de los parámetros estudiados y el tiempo de sedimentación con los coagulantes orgánicos es menor en comparación con coagulantes inorgánicos como el sulfato de aluminio. Mientras que Rana & Suresh (2017) determinaron que el FeCl_3 fue más efectivo en un rango de pH de 4, 8 y 10 logrando una disminución máxima de 54 % de DQO a una dosis de 4 g/L.

De manera similar, Irfan et al. (2017) a partir de las aguas residuales de una fábrica de papel obtuvo una remoción de DQO y SST de 16 % y 47% con FeCl_3 y 11% y 46 % con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ respectivamente en el proceso de coagulación; mientras que en el proceso de floculación aplicó la poliacrilamida (PA) catiónica y aniónica, alcanzando la disminución de DQO y SST de 74 % y 93 % con PA catiónico y 72 % y 93 % con PA aniónico. Igualmente, Florez et al. (2016) con muestras de aguas residuales municipales, alcanzó un 77.13 % y 93.03 % de remoción de DQO y SST respectivamente con FeCl_3 ; y con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ se logró una reducción de 76.36 % de

DQO y 88.47 % SST. En efecto, la combinación entre coagulantes y floculantes logra mayor reducción de los parámetros evaluados. Por el contrario, Guerreiro et al. (2016) realizó el tratamiento de las aguas residuales de una destilería utilizando solo FeCl_3 (sin floculantes), consiguiendo que la turbidez, DQO y DBO_5 alcancen el 94.3 %, 43.6 % y 27.9 % de reducción; concluyendo que para una dosis y nivel de pH constantes se obtiene mayor remoción de materia orgánica.

En cuanto a los antecedentes nacionales también se han realizado diferentes estudios en industrias, como en curtiembres donde Dioses (2019) demostró que el FeCl_3 fue más eficiente que el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, puesto que consiguió reducciones de hasta 99.02 %, 60.68 %, 96.67 % de turbidez, DQO y SST respectivamente. También, Rodríguez & Zapata (2015) obtuvieron mejores resultados con PAC usando una dosis constante de floculante catiónico de 4 mg/L a un nivel de pH básico en vez de utilizar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, es así que a pH 7.5 y 1200 mg/L de PAC se redujo 71 % de DQO, 69 % de DBO_5 y 78 % de Sólidos Suspendidos. En cambio, Agreda & Domínguez (2018) con 200 mg/L de PAC y 40 mg/L de Floculante Aniónico se logró una remoción de 96% de DBO_5 y 92% de turbidez, teniendo en cuenta (1) coagulación a 150 rpm por 3 minutos, (2) floculación 40 rpm por 5 minutos y (3) sedimentación de 8 minutos.

Alcarraz & Inche (2014) acondicionaron a nivel de pH básico muestras de aguas residuales de un planta procesadora de mango y agregaron 50 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y PAC como coagulantes y 0.1 mg/L de poliacrilamida como floculante, determinando que el PAC y el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ minimizaron la DBO_5 y turbidez en un 96.58 %, 98.10 % y 93.87 %, 96.78% respectivamente, demostrando que el PAC es mucho más eficiente, sin embargo ambos coagulantes removieron la materia orgánica hasta valores que se encuentran por debajo de los VMA. De manera similar, Godoy (2018)

a partir de muestras de agua originarias del río San Lucas (Cajamarca) a niveles alcalinos y utilizando floculante comercial COPOL CS 600 disminuyó hasta de 312 a 10.3 NTU (96.7 %); a diferencia de la Paleta de Tuna que tuvo resultados mayores de 315 a 3.34 NTU (98.94 %). Por otra parte, Chambi (2018) redujo 97.99 % con 0.6 ml de PAC y 94.92 % con 180 ml de $Al_2(SO_4)_3$ de Sólidos Suspendidos en aguas residuales de una lavandería.

Espinal (2017) empleó carbón activado derivado de la cáscara de coco para tratar aguas residuales domésticas, por lo que construyó dos filtros en botellas de vidrio previamente lavados con agua destilada que contenían algodón, piedras de río, carbón activado (en polvo y granular) en su estructura. De acuerdo a los resultados, el CAG fue más eficiente pues removió el 55.92 % de DBO₅, 64.81% de SST, 99.90 % de Aceites y Grasas y el 96.06 % de DQO; por el contrario, el CAP llegó a eliminar el 56.20 % de DBO₅, 86.55 % de SST y 99.96 % de Aceites y Grasas, pero, aumentó la DQO. Mientras, Apolitano & Cevallos (2018) utilizaron carbón activado en polvo de origen vegetal logrando una reducción de 10040 mg/L a 456 mg/L de DQO lo que representa un 95.5 % con solo 5 minutos de adsorción.

En suma, es necesario realizar la presente investigación en el que se propone el proceso combinado de coagulación – floculación y adsorción a fin de reducir las concentraciones de los parámetros físicoquímicos que exceden los VMA como una alternativa de solución y construir un perfil empresarial comprometido con el medio ambiente.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Aguas residuales o efluentes líquidos

Son aguas cuyas propiedades fueron transformadas por la actividad humana, se caracterizan por ser muy tóxicos y por ello es necesario un tratamiento antes de verterlas a un cuerpo natural de agua, descargadas al sistema de alcantarillado o ser reutilizadas, caso contrario conllevaría a un grave problema ambiental por la contaminación (Lazo, 2017; Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014b).

En general, las aguas residuales se caracterizan por tener desechos provenientes de diversas actividades humanas las cuales modifican sus características físicas, químicas y biológicas que pueden generar impacto ambiental negativo o deterioro de la infraestructura sanitaria.

1.2.1.1. Clasificación:

i. Aguas Residuales domésticas:

Su origen puede ser residencial y comercial, se caracterizan por poseer desechos fisiológicos principalmente (OEFA, 2014).

ii. Aguas Residuales industriales:

Originarios de procesos productivos como la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, etcétera (OEFA, 2014).

iii. Aguas Residuales municipales:

Son aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial (precipitación) o con aguas residuales industriales tratadas previamente, las cuales son admitidas en los sistemas de alcantarillado (OEFA, 2014).

1.2.1.2. Tratamiento de aguas residuales:

Consta de una serie de mecanismos físicos, químicos y biológicos con la finalidad de remover la carga de contaminante del agua residual ya sean orgánicos e inorgánicos previo a la descarga, y de esta manera alcanzar la calidad requerida por la normativa de descarga, producir agua limpia, reusable o generar un residuo sólido o lodo adecuado para su posterior eliminación (Dioses, 2019; Noyola, Morgan, & Patricia, 2013; Perez & Camacho, 2011).

Por otro lado, Reynolds (2002) manifiesta que se debe considerar diversos factores para elegir una tecnología de tratamiento adecuada como cantidad y composición de las aguas residuales.

1.2.1.3. Niveles de tratamiento de aguas residuales:

i. Tratamiento preliminar:

Es la eliminación de aquellos componentes que pueden causar problemas operativos y de mantenimiento, así como causar daños a equipos como ramas, piedras, animales muertos, plásticos, arenas, grasas y aceites; habitualmente se logra mediante la instalación de rejillas, mallas, lijadoras y barras que capturan sólidos grandes y a desarenadores en donde se logra la precipitación de partículas con altas tasas de sedimentación (Noyola et al., 2013; Ramírez & Mendoza, 2005).

ii. Tratamiento primario:

En este nivel de tratamiento, una parte de sólidos y materia orgánica suspendida se elimina del agua residual usando la fuerza de la gravedad como principio, la cual se lleva a cabo generalmente por sedimentación. (Noyola et al., 2013, p. 12)

iii. Tratamiento primario avanzado:

Consiste por lo general en un tanque de sedimentación o de flotación para remover material coloidal y en suspensión de agua residual a la que previamente le fue añadida

un compuesto químico para promover la coagulación, floculación y, por ende, una mayor eficiencia de remoción de contaminantes. (Ramírez & Mendoza, 2005, p. 116)

iv. Tratamiento secundario:

Sette (1996) alude que: “El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales” (p. 8).

De igual manera Ramírez & Mendoza (2005) plantean que:

Consiste principalmente en la estabilización de la materia orgánica y la eliminación de sólidos coloidales que no sedimentaron en el tratamiento primario, por lo que el tratamiento secundario recibe también el nombre de tratamiento biológico. Dicho tratamiento puede llevarse a cabo en la presencia de oxígeno (proceso aerobio) o sin la presencia de oxígeno (proceso anaerobio). (p. 116 - 117)

v. Tratamiento terciario o avanzado:

La finalidad es remover los contaminantes que no se eliminaron con los tratamientos biológicos convencionales (Sette, 1996), tales como sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica restante no biodegradable; en general, este tratamiento es necesario cuando las condiciones de descarga son estrictas o cuando el agua está destinada para específico uso (Noyola et al., 2013).

1.2.1.4. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales industriales:

Cuando se caracteriza las aguas residuales, se debe tener en cuenta la procedencia del agua residual a tratar (Barba, 2002).

Ante lo mencionado, los parámetros fisicoquímicos más representativos son:

i. Sólidos Suspendidos totales (SST):

Son materia particulada que contiene compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales incrementan la turbiedad del agua (Jiménez, 2001).

ii. Potencial de Hidrógeno (pH):

Es el valor que establece si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrógeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 6 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales., pero cuando el número de átomos de hidrógeno (H⁺) excede el número de átomos del oxhidrilo (OH⁻), la sustancia es ácida. (Dirección General de Salud (DIGESA), s. f., p. 7)

Su medición se realiza con un pH metro, aunque también se puede realizar mediante papeles de coloración que indican el pH (Rigola, 1989).

iii. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):

Es la cantidad de oxígeno consumido (durante 5 días en oscuridad y a una temperatura de 20 °C) para oxidar la materia orgánica presente en el agua por medio de biodegradación (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010, p. 84).

iv. Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Es la cantidad de oxígeno requerido para descomponer químicamente la materia orgánica degradable y biodegradable (Delgadillo et al., 2010). Es un indicador importante de la calidad del agua y es utilizado para describir el grado de contaminación orgánica en las aguas residuales, pues las aguas residuales con alto contenido de DQO promueve la reproducción microbiana y dañar gravemente el ecosistema de una masa de agua (Meng et al., 2018).

Para hallar la remoción de DQO se emplea la siguiente fórmula (Rana & Suresh, 2017):

Ecuación 1 *Reducción de DQO*

$$\text{Reducción DQO \%} = \frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_i} \times 100$$

Donde:

DQO_i: Es la cantidad inicial de DQO en mg/L.

DQO_f: Es la cantidad final de DQO en mg/L.

a. Métodos para el análisis de DQO

Según Baird, Eaton, & Rice (2017) existen dos métodos estandarizados para la determinación de DQO los cuales son del reflujó abierto y cerrado, la diferencia entre estos es que el primero emplea gran cantidad de muestras y reactivos; y el segundo, utiliza pequeñas concentraciones de muestra y reactivos, lo cual lleva a reducir costos y tiempo de análisis, además de generar menor cantidad de desechos peligrosos.

b. Interferencias en el análisis de la DQO

Los cloruros constituyen la interferencia más importante, puesto que introducen un error por exceso en el valor de la DQO; ante ello, el sulfato de mercurio (HgSO₄) es agregado a la muestra antes de adicionar los otros reactivos del procedimiento de reflujó pues evita la interferencia causada por estas (Baird et al., 2017).

v. Aceites y grasas

Las grasas y aceites tienen como característica principal la insolubilidad en el agua, puede provenir de algunos derivados del petróleo como estaciones de gasolina, lavaderos de autos, entre otros (Delgadillo et al., 2010).

vi. Temperatura

Es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico (DIGESA, s. f.). La temperatura entre 15 °C a 35 °C es apta para todo tipo de tratamiento.

vii. Turbidez

Es la materia suspendida en el agua que absorbe la luz, haciendo que el agua tenga un aspecto nublado, es producida por materias en suspensión como arcillas o materias orgánicas e inorgánicas. (DIGESA, s. f., p. 19)

1.2.2. Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO₅/DQO

La relación DBO₅/DQO permite determinar qué cantidad de la DQO (materia orgánica e inorgánica contenida en una muestra) de un vertido es susceptible de ser depurada por los microorganismos en cinco días (DBO₅) y por tanto el carácter de biodegradabilidad de los diferentes vertimientos (Bedoya, Ardila, & Reyes, 2014). Entonces, cuando la relación DBO₅/DQO es menor a 0.3, el vertimiento es no biodegradable, valores entre 0.3 a 0.7 lo hacen poco biodegradable, valores mayores a 0.7 a 0.8 lo hacen degradables, mientras que valores superiores a 0.8 son muy biodegradables, siendo las condiciones de recuperación favorecidas por métodos biológicos (Ardila, Reyes, Arriola, & Hernández, 2012).

1.2.3. Sistemas coloidales

Los coloides son partículas muy pequeñas que a simple vista no son perceptibles, generalmente tienen una superficie cargada negativamente ocasionando que se repelan unas a otras haciendo que la sedimentación por gravedad sea muy lenta (Wang, Hung, & Shamma, 2005).

Las propiedades principales de los coloides son:

1.2.3.1. Movimiento browniano

Significa que los coloides tienen un movimiento constante e irregular (Muruganathan, Raju, & Prabhakar, 2004; Wang, Hung, & Shammas, 2005).

1.2.3.2. Difusión

A consecuencia del movimiento browniano, las partículas coloidales tienden a dispersarse por todas partes (Wang et al., 2005).

1.2.3.3. Fuerzas de Van der Waals

Es una propiedad trascendental ya que implica una de las principales fuerzas de atracción entre partículas (Wang et al., 2005).

1.2.3.4. Adsorción

Estas partículas tienen una gran superficie específica, determinada como la relación entre el área superficial y la masa (Wang et al., 2005).

1.2.3.5. Electroforesis

La electroforesis es un fenómeno que permite corroborar que las partículas coloidales tienen carga eléctrica y entender la estabilidad de las dispersiones coloidales. Generalmente los coloides presentan carga negativa; por lo que son atraídos por el electrodo positivo en la electroforesis (Wang et al., 2005).

1.2.4. Proceso de Coagulación-Floculación

El proceso de coagulación-floculación es el método de tratamiento físico y químico más común utilizado para purificar las aguas residuales industriales antes de que se descarguen en alcantarillas públicas o cuerpos de agua (Aguilar, Ortuño, Soler, & Sáez, 2002).

Desde la perspectiva del funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua, eliminar aquellas partículas que no se sedimentarán en un tiempo razonable (30 a 60

minutos) debido a su pequeño tamaño (normalmente menos de $10\mu\text{m}$), es imprescindible utilizar el proceso de coagulación-floculación (Bratby, 2006). Es común que se realice en dos tipos de tanques instalados en serie donde el primero es el tanque de mezcla rápida, y el segundo, el de mezclado lento (American Water Works Association (AWWA), 1990, citado en Charapaqui, 2019).

Irfan et al. (2017) y Meng et al. (2018) sostienen que este proceso es eficiente para la reducción de DQO, SST y color, por lo que la principal ventaja es que la mayor parte de DQO y SST se reducen en el proceso, convirtiéndolo en el más rentable antes del tratamiento secundario o terciario.

1.2.4.1. Coagulación:

La coagulación es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales debido a que se neutralizan las fuerzas que los mantienen separados a través de la adición de reactivo químico (coagulante) y posterior agitación, dando como resultado la formación de partículas de mayor tamaño (Agregda & Domínguez, 2018). Una de las ventajas principales es costo del tratamiento, porque se remueve diversas sustancias con una inversión menor si se coteja con otros métodos (Lobatón & Hualpa, 2019).

Por tanto, la eliminación de las partículas coloidales se vincula con una correcta coagulación, ya que las siguientes etapas como floculación, sedimentación y filtración dependerán de ella.

i. Mecanismos de coagulación

a. Comprensión de la doble capa o capa difusa

Este mecanismo se produce cuando dos partículas semejantes se aproximan, entonces es cuando sus capas difusas interactúan produciendo una fuerza de repulsión y caerá de forma acelerada si aumenta el número de iones de carga opuesta al de las partículas,

lo cual se consigue únicamente con los iones del coagulante químico utilizado (Andía, 2000).

b. Adsorción y neutralización de cargas

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie y estas atraen a los iones positivos que están en la solución conformando la primera capa que es adherida al coloide (Andía, 2000). Mediante la coagulación se alcanza la anulación del potencial Z mediante la mezcla del efluente con una agitación mecánica o hidráulica (movimiento browniano) (Andía, 2000).

c. Atrapamiento de partículas en un precipitado

Una vez desestabilizadas las partículas coloidales, estas pueden ser atrapadas dentro de un flóculo cuando se adiciona suficiente cantidad de coagulante; además, por la presencia de ciertos aniones y las partículas coloidales se acelerará la formación del precipitado (Andía, 2000).

d. Adsorción y formación de puente

El coagulante a utilizar debe ser un polímero con cadenas muy largas con la capacidad de absorber partículas coloidales, así la molécula del polímero puede absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los demás espacios son libres para que otras partículas sean absorbidas; es por ello que se dice que las moléculas de polímeros construyen una especie de puente entre las partículas coloidales (Andía, 2000).

ii. Coagulantes

Los reactivos comúnmente utilizados para el proceso de coagulación - floculación son:

a. Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)

El sulfato de aluminio conocido como alúmina o alumbre se caracteriza por su color grisáceo en estado sólido, asimismo, su fórmula teórica es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (Kirchmer, 1981, citado en Chambi, 2018). Su rango de pH óptimo varía de 5.5 a 8.0 unidades de pH, lo que ayuda a reducir las actividades necesarias para lograr el ajuste del pH del fluido en las primeras etapas del tratamiento del agua, a la vez que reduce los costos operativos (Barajas & León, 2015).

b. Policloruros de aluminio (PAC)

Cuando al sulfato de aluminio se le adiciona agua, los iones metálicos se hidrolizan raudamente, creando una amplia variedad de especies de la hidrólisis del metal (Bratby, 2006). Fueron desarrollados en Japón y nombrados como policloruros de aluminio o PAC (Hendricks, 2006) utilizados en el tratamiento de agua y se encuentran en forma líquida o en polvo (Chambi, 2018).

Para Bratby (2006) y Chambi (2018) las ventajas principales son:

- Liberan al agua especies iónicas muy cargadas y con peso molecular moderado, las cuales ya se encuentran preformadas por lo que no es necesario condiciones específicas de temperatura, pH, alcalinidad, entre otras tal como sucede con el sulfato de aluminio.
- Operan sobre un amplio intervalo de pH (de 4 a 9) y temperaturas (de 4 a 25 °C) del agua.
- Pueden usarse para tratar aguas de baja alcalinidad y alta turbiedad.
- Requieren de menores dosis para una coagulación efectiva y, por ende, la producción de lodos es menor.
- Liberan una menor cantidad de iones cloruros y sulfatos residuales.

- Forman flóculos más compactos y densos.
- Brinda una velocidad de floculación mayor a la obtenida con otros coagulantes inorgánicos debido a la polimerización de su molécula permite una alta captación de contaminantes (orgánicos e inorgánicos).

c. Cloruro Férrico (FeCl_3)

Está disponible en forma sólida y líquida, se origina por la oxidación entre el sulfato ferroso y cloro. La ventaja de utilizar este compuesto para la coagulación, es que el tratamiento puede llevarse a cabo en diferentes pH entre 4.8 hasta 11 unidades de pH (Chambi, 2018). En presencia de hierro, la solución acuosa de cloruro férrico se reduce rápidamente a cloruro ferroso (FeCl_2), esta reacción explica su fuerte capacidad de corrosión del acero y la necesidad de seleccionar adecuadamente los materiales para los contenedores de almacenamiento, preparación y distribución (Programa Regional HPE/OPS/CEPIS, 1992, citado en Chambi, 2018).

d. Polímeros orgánicos

Estos compuestos son moléculas de cadena larga compuestas por unidades químicas (monómeros) regulan el volumen de los lodos y reducen los residuos químicos en el tratamiento de aguas (Charapaqui, 2019).

Los polímeros se pueden clasificar en tres clases:

- Los polímeros catiónicos tienen sitios cargados positivamente en su estructura y están disponibles comercialmente en varias densidades de carga y pesos moleculares. Cabe mencionar que, dado que la mayoría de las partículas en el agua natural tienen una carga negativa en su superficie, los polímeros catiónicos se usan más comúnmente para neutralizar la carga y desestabilizar las partículas (Hendricks, 2006).

- Los polímeros aniónicos son aquellos que presentan sitios cargados negativamente y son fabricados con diferentes densidades de carga. Se utilizan principalmente para enlazar las partículas (ya desestabilizadas) y así aglomerarlas; las poliacrilamidas de alto peso molecular son frecuentemente utilizadas para este propósito (Hendricks, 2006; Pizzi, 2005).
- Los polímeros no iónicos tienen carga cero, es decir, tienen un equilibrio entre sus sitios cargados negativamente y positivamente. Su principal función es formar puentes entre las partículas y ayudarlas a aglomerarse. Comúnmente, estos tipos de polímeros requieren dosis más altas para ser efectivos en comparación con los polímeros catiónicos y aniónicos (Hendricks, 2006; Pizzi, 2005).

iii. Factores que influyen en la coagulación

Para optimizar el proceso de coagulación es importante tener en cuenta lo siguiente:

a. Influencia del pH

Esta es una variable muy importante de considerar en la coagulación, debido a que para cada tipo de agua hay un rango de pH óptimo para que la coagulación sea eficiente (Lobatón & Hualpa, 2019). Asimismo, el rango de pH dependerá del tipo de coagulante a usar y de la procedencia del agua a tratar pues las partículas en el agua también se modifican por el valor del pH principalmente la carga superficial que aumenta o disminuye su valor debido a la ionización de ciertos grupos funcionales, como la materia orgánica natural (Hendricks, 2006); pero si se realiza fuera del rango de pH óptimo se deberá incrementar la cantidad del coagulante, por ende, aumentará los costos del tratamiento (Andía, 2000).

Se debe tener en cuenta que hay compuestos modificadores de pH, los cuales son usados para llevar a cabo un adecuado proceso de coagulación-floculación como el

óxido de calcio (CaO), Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂), Hidróxido de Sodio (NaOH), Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) y Ácido Clorhídrico (HCl) (Perez, 1973 citado en Charapaqui, 2019).

b. Influencia de las sales disueltas

Las sales que se encuentran dentro del agua modifican el rango de pH óptimo, tiempo requerido para la coagulación, cantidad de coagulantes requeridos y cantidad residual del coagulante dentro del efluente (Andía, 2000).

c. Influencia de la Temperatura en el agua

La temperatura interviene en el tiempo para la formación del coágulo, siendo una relación inversamente proporcional, esto es, a menor temperatura, mayor será el tiempo que se requiera para que el coágulo se forme (Andía, 2000). Por otro lado, temperaturas muy elevadas también desfavorecen el proceso (Andía, 2000).

d. Influencia de la dosis del Coagulante

Según Andía (2000, p.17), la cantidad del coagulante ejerce de forma directa en la eficiencia del proceso de coagulación:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, por lo que la formación de los microfloculos es muy escasa y por lo tanto la turbiedad resultante es elevada.
- Alta cantidad de coagulante genera la inversión de la carga de la partícula, formando gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños que tienen velocidades de sedimentación muy bajas y por lo tanto la turbiedad resultante es igualmente elevada.

e. Influencia de Mezcla

El grado de agitación establecerá si el proceso se realizará de forma completa, es así que turbulencias desiguales hacen que una parte del agua tenga mayor concentración de coagulantes que la otra, es por ello que la agitación debe ser intensa y uniforme en toda la masa de agua para cerciorar la reacción química de neutralización de cargas (Andía, 2000).

f. Influencia de la Turbidez

La turbidez es un indicador que ayudará a establecer la dosis óptima del coagulante para tratar el agua y luego obtener un nivel más bajo después del tratamiento (Andía, 2000).

iv. Tipos de coagulación

Según Andía (2000) existen dos tipos de coagulación, las cuales se definen como:

a. Por Adsorción

Cuando el coagulante es adicionado a un agua que presenta partículas coloidales en concentraciones altas, haciendo que los productos solubles de los coagulantes sean absorbidos por los coloides y se establezcan flóculos (Andía, 2000).

b. Por Barrido

Es cuando el agua tiene poca turbiedad y la cantidad de partículas coloides baja; entonces las partículas son atrapadas al producirse una saturación en exceso de precipitado del coagulante (Andía, 2000).

1.2.4.2. Floculación

Generalmente los flóculos formados durante la coagulación no son tan grandes como para sedimentar rápidamente, por lo que este proceso puede ser más eficiente utilizando un reactivo de floculación; y mediante la agitación lenta se formen otras de

tamaño y peso mayor, los flóculos se acopian en forma de red creando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados para que puedan sedimentar fácilmente (Andía, 2000). Cabe mencionar que este proceso es favorecido por el mezclado lento pues permite juntar poco a poco los flóculos; por el contrario, un mezclado muy rápido los rompe (Andía, 2000).

i. Tipos de floculación

a. Floculación Pericinética

Es producido por el movimiento natural de las moléculas de agua y causado por la energía térmica, este movimiento se llama movimiento browniano (Andía, 2000).

b. Floculación Ortocinética

Se basa en las colisiones de partículas provocadas por el movimiento del agua, el cual es causado por la energía exterior al cuerpo de agua y puede ser mecánico o hidráulico (Andía, 2000).

ii. Floculantes

Los floculantes son polímeros o polielectrolitos de muy alto peso molecular, son moléculas orgánicas solubles en agua formadas a partir de bloques llamados monómeros que se repiten en largas cadenas (Andía, 2000), los cuales pueden provenir de distinta naturaleza como:

a. Floculantes Minerales

La sílice activada es el primer floculante utilizado y debe prepararse antes de su uso, su preparación es muy delicada y existe el riesgo de gelatinización (Andía, 2000).

b. Floculantes Orgánicos Naturales

Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales (Andía, 2000).

c. Floculantes Orgánicos de Síntesis

Son las más utilizadas, son macromoléculas de cadena grande obtenidas mediante la asociación de monómeros, clasificados en Aniónicos, neutros o no iónicos y Cationicos (Andía, 2000).

iii. Factores de influencia

a. Dosis óptima

Es la cantidad máxima de polímero que el sistema de floculación puede absorber, siempre que las uniones en la superficie no se rompan después de que se formen los flóculos (Pérez & Urrea, 2011).

b. Agitación

Se requiere una agitación suficiente durante la adición del polímero y la formación del flóculo. Al comienzo de la etapa de floculación, se recomienda reducir la velocidad de agitación para evitar el efecto de cizallamiento que produzca la ruptura mecánica de los flóculos (Pérez & Urrea, 2011).

c. Peso molecular del polímero

El polímero de mayor peso molecular producirá un mayor número de moléculas que pueden ser absorbidas y utilizadas por las partículas, optimizando así la dosificación del polímero y aumentando la velocidad de sedimentación (Pérez & Urrea, 2011).

d. Concentración de sólidos

La estabilidad del flóculo aumenta a medida que aumenta la densidad del sólido (Pérez & Urrea, 2011).

e. Superficie de los sólidos

La dosis óptima de floculante es inversamente proporcional al área de superficie específica del sólido, es decir, cuanto mayor es el tamaño de partícula o área de superficie, menor es la dosis de floculante (Pérez & Urrea, 2011).

f. Efecto de la temperatura

Generalmente se cree que un aumento de temperatura puede mejorar la floculación, no obstante, no es siempre el caso. (Pérez & Urrea, 2011).

g. Efecto del pH

La eficiencia de los polímeros varía en función del rango del pH, por ejemplo, usualmente los polímeros aniónicos son más efectivos a pH entre 7 y 14; los no iónicos pueden adsorber las partículas positivas y negativas a pH 6 y 10 y los catiónicos entre pH 4 y 8 (Pérez & Urrea, 2011).

1.2.5. Prueba de test de Jarras

Es un método de simulación de los procesos de coagulación-floculación a nivel de laboratorio (Andía, 2000). Esta prueba se considera generalmente como la práctica más valiosa y común para simular el proceso de coagulación y floculación de plantas en el laboratorio; además de ser una prueba rápida, de costo bajo y puede lograr resultados reales (Spellman, 2008; De Wolfe et al., 2003, citados en Charapaqui, 2019). Puede ser utilizada para la selección, dosis y concentración inicial del coagulante; en la selección del floculante, su concentración inicial y dosis, determinación del pH óptimo, del tiempo de adición de los químicos para ajustar el pH y de los floculantes, optimización de la energía de mezclado y el tiempo para la mezcla rápida y la lenta, etc. (Pizzi, 2005). Asimismo, existen diversas metodologías

para llevarla a cabo; pero seguirá siendo un método empírico y difícil de estandarizar (Hendricks, 2006).

El equipo suele estar compuesto por seis recipientes (generalmente de un litro de capacidad y cilíndricos), cada recipiente tiene un agitador (puede ser una paleta, varilla electromagnética o hélice); se debe tener en cuenta que no existe impacto significativo por la capacidad de las jarras, su forma y el tipo de mezclador (Bratby, 2006; Hendricks, 2006).

1.2.6. Sedimentación

La sedimentación es un proceso físico y es uno de los más aplicados en el tratamiento del agua para lograr su clarificación, puesto que cuando una suspensión de partículas se sedimentan, se obtiene un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (Charapaqui, 2019). Las partículas en suspensión presentes en el agua deben tener un peso mayor al del medio para ser removidas por la fuerza de gravedad (Charapaqui, 2019). Por otro lado, existen partículas no sedimentables como los suspendidos, coloidales y disueltos. Los primeros son trasladados debido a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; la sedimentación es lenta en los más pequeños (menos de 0,01 mm) y se consideran sólidos no sedimentables; mientras que los más grandes (mayores de 0,01 mm) son sedimentables en general (Romero, 2006). Por consiguiente, los sólidos coloidales como limo fino, bacterias, virus, entre otros que se sedimentan luego de periodos moderados, generan el color y la turbiedad en las aguas. Por último, los sólidos disueltos (materia orgánica e inorgánica) no son sedimentables y provocan diversos problemas de olor, sabor y color si no son precipitados y removidos mediante métodos fisicoquímicos (Romero, 2006). Igualmente, existe la sedimentación simple y sedimentación después de la

coagulación y floculación; este último es el proceso que se utiliza para remover sólidos sedimentables producto del tratamiento fisicoquímico (Chambi, 2018).

1.2.7. Adsorción

La adsorción es un proceso mediante el cual una sustancia líquida se transfiere a la superficie de un sólido donde son retenidas por fuerzas físicas y/o químicas; por lo que la sustancia eliminada de la solución se llama adsorbato y el sólido que retiene la sustancia se llama adsorbente (Meng et al., 2018; Chambi 2018). Generalmente, el carbón activado es útil para adsorber compuestos orgánicos disueltos, eliminando hasta el 90% de la materia orgánica disuelta (Romero, 2006).

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, tras un tratamiento biológico o un tratamiento físico y químico, se puede utilizar como tratamiento terciario para mejorar la calidad de las aguas residuales (Chambi, 2018).

1.2.7.1. Mecanismo de adsorción

i. Fisisorción

La adsorción física implica la atracción entre cargas eléctricas diferentes del adsorbente y el adsorbato (Chávez, Bardales, Holguín, & Laiza, 2012).

ii. Quimisorción

Es el producto entre la reacción entre el adsorbente y el adsorbato, lo que genera la formación de enlaces químicos relativamente fuerte (Chávez et al., 2012; Meng et al., 2018).

iii. Adsorción por intercambio iónico

Se refiere al reemplazo de algunos iones en el agua con otros iones que previamente se fijaron a los adsorbentes (Meng et al., 2018).

1.2.7.2. Factores que influyen la adsorción

i. Área superficial del adsorbente

Ures et al. (2015) señalan que la capacidad de adsorción se considera generalmente proporcional a la superficie específica. La superficie específica es la proporción de la superficie total disponible para la adsorción. Cuanto más finamente divididos y más porosos sean los adsorbentes, mayor será la adsorción esperada por unidad de peso del adsorbente. (p. 3)

ii. Porosidad del adsorbente:

Gómez et al. (2010) mencionan que los poros que forman la estructura se clasifican de acuerdo con su tamaño basado en los principios fisicoquímicos como Microporos (poros con ancho < 2 nm), Mesoporos (poros con ancho entre 2 y 50 nm) y Macroporos (poros con ancho > 50 nm). La adsorción se concreta en el micro y el mesoporos, mientras que los macroporos sirven como medio de transporte de las sustancias adsorbidas dentro de las partículas (Gómez et al., 2010).

1.2.8. El carbón activado

La activación de carbono implica aumentar el área superficial para formar una estructura porosa y por lo tanto tiene una gran superficie interior alcanzado una gran capacidad de adsorción (Chávez et al., 2012). Pueden adsorber diversas sustancias, es decir, pueden atraer moléculas a su superficie interna (Apolitano & Cevallos, 2018). Por lo que cuando se requiere eliminar materia orgánica, suele ser adsorbido por el carbón activado, ya que es usualmente aplicado por ser una técnica más barata y sencilla (Universidad de Sevilla, 2020).

Se puede encontrar en forma de gránulos o en polvo (Apolitano & Cevallos, 2018), pero no existe diferencia entre el carbón activado granular (CAG) y el carbón activado en polvo (CAP) puesto que se elaboran con el mismo proceso; sumado a ello, solo el

segundo se pulveriza (Carbotecnia, 2004). De igual manera, Sette (1996) señala que ambos tipos son efectivos porque se han utilizado como adsorbentes en plantas de tratamiento de agua para eliminar la grasa y los olores causados por contaminantes existentes. Cabe mencionar que lo que sí aumenta en la CAP es la cinética con la que funciona ya que la longitud de sus poros disminuye y se llenan cuando el carbón se pone en funcionamiento (Carbotecnia, 2004). Sin embargo, Li et al. (2010) sostiene que el carbón activado granular (CAG) es uno de los mejores adsorbentes para eliminar diversos contaminantes orgánicos debido a su gran superficie y estructura microporosa.

Dentro de las ventajas de ambos tipos de carbones activados es que el CAP se puede destinar solo la cantidad necesaria según la calidad de cada muestra a procesar. Su desventaja es que debe separarse del agua mediante coagulación-floculación-sedimentación y / o filtración (Espinal, 2017). Mientras que con el CAG no lo requiere, se puede reactivar y reutilizar (reactivar en un horno a 700°C), y su funcionamiento puede favorecer la formación de biomasa, degradando la materia orgánica adsorbida y liberando espacio de adsorción, alargando así la vida útil del carbón activado (Espinal, 2017). Es por ello que este último es el más utilizado (Mohammad-pajooch et al., 2018).

1.2.9. Valores Máximos Admisibles (VMA)

Es el 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, y que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y procesos del tratamiento de las aguas residuales. (OEFA, 2014b, p. 3)

1.2.10. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Es un instrumento de gestión ambiental que sirve para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional, es donde se establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2021).

1.2.11. El Contenedor

Es una unidad de carga que se emplea como un medio de transporte ya sea para exportar e importar productos. Larrucea et al. (2013) señala que el transporte de cargas surgió desde que algunas civilizaciones antiguas iniciaban el comercio con cantidades grandes de mercancías y que el creador del contenedor fue Malcolm McLean, quien en 1956 llevó el primer buque portacontenedores a la ciudad de Houston, Estados Unidos. Con la aparición del contenedor se inició la decadencia de la carga general hasta ese entonces era el tipo de transporte de mercaderías más importante por vía marítima que contaban de buques con cuatro o más bodegas de cargas. El objetivo de los contenedores es facilitar y agilizar el transporte de materiales u objetos a grandes distancias, asegurar las mercancías ante robos, mayor celeridad en las operaciones de carga y descarga de los buques dispuestos para el transporte de contenedores y esto trae consigo la reducción del tiempo de permanencia en el puerto, uso de combustible, entre otros beneficios (Larrucea et al., 2013).

1.2.11.1. Tipos de Contenedores

Larrucea et al. (2013) define los siguientes tipos de contenedores, de los cuales se resalta:

i. Contenedor cerrado (contenedor seco)

Es el más usado para todo tipo de carga en seco mediante barriles, palés, cajas, entre otros (Larrucea et al., 2013). En su interior tiene piso de madera y los laterales son de

acero o aluminio, por lo que el proceso de lavado de este tipo de contenedor solo requiere de detergentes, desinfectantes y aromatizantes.

ii. Contenedor cisterna

Empleado para el transporte de líquidos peligrosos y no peligrosos (líquidos inflamables), consta de una cisterna apoyada en una estructura de soporte con cantonera de esquina para facilitar los anclajes en los vehículos.

iii. Contenedor refrigerado

Es llamado comúnmente como “reefer container” o “reefer”, tiene un sistema de enfriamiento y calefacción para el control de la temperatura; su aislamiento es de espuma de poliuretano que permite una mayor eficiencia térmica y posee color blanco en las paredes exteriores a fin de reflejar el calor del sol (Mediterranean Shipping Company, 2015, citado en Poquioma, Purizaga, & Rodríguez, 2016). Es de material aluminio o acero inoxidable y mantiene la mercadería hasta $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$, también se incluyen los que pueden controlar el grado de humedad de su interior y son ideales para almacenar productos perecederos como la fruta o carne (Larrucea et al., 2013; Poquioma et al., 2016).

Debido a las características mencionadas anteriormente, para el proceso de lavado se requiere de insumos químicos que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente, ya que la superficie de aluminio se corroe y es necesario el uso de insumos ácidos como el removedor de óxido sumado a ello el uso de detergentes industriales lo que genera aguas residuales contaminadas que pueden terminar directamente en cuerpos de agua impactando negativamente al ecosistema o en alcantarillados dañando la infraestructura a largo plazo.

iv. Ecocontenedor con base de bambú

Son contenedores que tienen suelo de bambú a fin de proteger el medio ambiente puesto que minimiza el consumo de energía en su proceso de elaboración, así como reduce el peligro de contaminación marítima.

1.2.11.2. Almacén de Contenedores

El uso de contenedores se ha extendido a través de los años que se ha construido almacenes con la estructura adecuada para depositarlos, colocándolos unos sobre otros. Además, cuenta con las condiciones adecuadas para la carga y descarga de contenedores agilizando el transporte de carga terrestre (ArchAdmin, 2016).

1.2.12. Proceso de Lavado de Contenedores Refrigerados

De acuerdo al procedimiento de lavado de contenedores de Medlog Perú (2019) los pasos para llevarlo a cabo es el siguiente:

a. Previo al lavado de contenedores

- Se retiran los residuos sólidos con el fin de evitar acumulaciones y posterior atoro del canal de desagüe, también se revisa que el deflector de aire esté destrabado y las puertas laterales de esta zona estén sin los resortes de seguridad.
- El acondicionador (encargado de dejar en buenas condiciones el contenedor), removerá restos de trincas, materiales, etiquetas, etc. de los contenedores vacíos devueltos por los clientes. Así mismo barrer y trapear de ser necesario.
- El personal de lavado ingresa a cada uno de los contenedores refrigerados, a fin de evaluar la cantidad de insumos químicos a utilizar para remover residuos de grasas, oxido y/o pegamento de las etiquetas adheridas a los paneles, piso y techo, en el caso de las etiquetas se deberá remover la cinta con una espátula y dejar solo el pegamento.

b. Aplicación del producto químico y verificación de residuos

- En primer lugar, se aplica el producto químico “Orange Tough 90” a través de un aspersor sobre las manchas de pegamentos, se deja actuar un par de minutos y luego se retira los pegamentos con una escobilla o espátula suave.
- En segundo lugar, se aplica el remover el óxido, sarro y grasa (SPQ-RO-A) el cual es aplicado en paredes y suelo del contenedor con ayuda de escobas y escobillas.
- Posteriormente, se aplica la Espuma Quita Olores (SQP-EC-2) el cual es un detergente para eliminar los olores que se encuentran en el contenedor.
- El lavado se inicia desde la parte frontal hacia la puerta utilizando una hidrolavadora, comenzando con el techo luego los paneles y terminando con el piso, durante este proceso se verificará que no quede residuos de la carga previa, así como etiquetas.

c. Enjuague de contenedores

- Luego de la verificación, se procederá a efectuar el enjuague respectivo que consta de 2 etapas, la primera para remover el insumo químico aplicado y la segunda para su retoque final.
- El personal de lavado debe asegurarse que en el contenedor no queden residuos del insumo químico aplicado, así como olores que deja este, a fin de determinar si requiere nuevamente enjuague (ANEXO n.º 3).

El diagrama del proceso de lavado de contenedores se encuentra en el ANEXO n.º 4.

d. Verificación final

Una vez culminada la labor de lavado del contenedor refrigerado, este debe ser revisado para su aprobación, etiquetado y apilado en la zona respectiva.

e. Traslados a zona de arrumaje

Se procede a trasladar el contenedor con una grúa stacker hacia la zona de arrumaje.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿El sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio reducirá los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.?

1.3.2. Problemas Específicos

P.E.1. ¿Cuáles serán los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento?

P.E.2. ¿Cuál será la dosis óptima de cada coagulante para el mayor porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados?

P.E.3. ¿Cuánto será la reducción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados después del tratamiento por coagulación-floculación y adsorción para el cumplimiento de los valores máximos admisibles?

1.4. Justificación

Este estudio cuenta con una justificación teórica porque resume el aporte teórico de los autores más importantes que hacen referencia a las variables de estudio, siendo la variable dependiente aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados y la variable independiente el sistema de Coagulación-Floculación y Adsorción.

Asimismo, tiene una justificación práctica porque se puede aplicar como solución al problema que presenta la empresa para el tratamiento de aguas residuales del lavado de contenedores mediante la Coagulación-Floculación y Adsorción, porque son

técnicas comunes, rápidas, confiables y rentables para eliminar los contaminantes orgánicos de las aguas residuales.

De igual manera presenta una justificación económica puesto que evita gastos económicos en la empresa ante posibles cobros adicionales por exceso de concentración impuesta por las entidades de fiscalización, así como también ayuda ahorrar al estado en reparar, reponer o renovar la infraestructura sanitaria ante posibles daños generados por la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento.

Igualmente, presenta una justificación social pues el mal uso del sistema de alcantarillado público debido a la descarga de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados sin previo tratamiento puede dañar la infraestructura sanitaria y esto traería como consecuencia el mal funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales por ende perjudicaría a las viviendas o empresas aledañas, siendo Callao uno de los distritos donde se presenta mayor incidencia sobre esta problemática (iAgua, 2014), a todo ello también se sumaría la contaminación de cuerpos de agua por su inadecuado funcionamiento.

También cuenta con una justificación metodológica porque está aplicando los procesos de coagulación, floculación y adsorción en el tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de contenedores refrigerados, del cual no existen estudios previos por lo que es un gran aporte de investigación para empresas que realizan este servicio.

Además, tiene una justificación legal porque la empresa tiene el deber de cumplir con las normativas ambientales dispuestas por el gobierno, en este caso, los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales originadas del lavado de contenedores refrigerados tienen que estar dentro del rango establecido en los Valores Máximos

Admisibles de las Aguas Residuales no domésticas. De no hacerlo, la empresa se encuentra propensa a enfrentarse a sanciones por parte de las autoridades pertinentes durante alguna inspección como la suspensión definitiva del servicio.

Finalmente, tiene una justificación investigativa pues los resultados del presente estudio darán a pie a que se continúen los estudios en este campo, a gran escala y quizá se puede estudiar otras variables que no se consideraron.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar el sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la reducción de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.

1.5.2. Objetivos Específicos

O.E.1. Determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento.

O.E.2. Evaluar la dosis óptima de cada coagulante para el mayor porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados.

O.E.3. Cuantificar la reducción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados después del tratamiento por coagulación-floculación y adsorción para el cumplimiento de los valores máximos admisibles.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

El sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio reducirá los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.

1.6.2. Hipótesis Específicas

H.E.1. Los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento permitirán conocer el grado de contaminación.

H.E.2. El mayor porcentaje de reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados será influenciado por el tipo y dosis óptima de cada coagulante.

H.E.3. Los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados después del tratamiento por coagulación-floculación y adsorción cumplirán con los valores máximos admisibles.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Población y muestra

2.1.1. Población

La población son todas las aguas residuales provenientes del lavado de contenedores refrigerados de M.P. S. A. sede Reefer Center, cuyo caudal equivale a $1\text{m}^3/\text{h}$ lo cual equivale a 0.28 L/s (Torres, 2020).

2.1.2. Muestra

La determinación de la muestra se realizó en base a un muestreo compuesto, el cual tuvo como objetivo establecer el volumen de las muestras individuales considerando los rangos de operación del proceso generador de descarga de aguas residuales de la empresa, además de proporcionar una mayor representatividad del muestreo (Institución Nacional de Calidad (INACAL), 2016).

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 214.060 2016 Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado (INACAL, 2016), se determinó cuatro muestras puntuales cada 2 horas durante el periodo completo de operación del proceso, debido a que el proceso de lavado de contenedores refrigerados de la empresa opera 8 horas diarias.

A partir de ello, para determinar el volumen de la muestra puntual a coleccionar se aplicó la siguiente fórmula:

Ecuación 2 *Fórmula para la determinación del volumen de la muestra*

$$\text{Alícuota de volumen total} = \frac{\text{Caudal} \times \text{Volumen total de la muestra compuesta}}{\text{Caudal} \times \text{N}^\circ \text{ de mediciones}}$$

Fuente: Adaptado de INACAL (2016).

La muestra fue de un volumen de 26 litros de aguas residuales provenientes del lavado de contenedores refrigerados para ser usados en los procesos de tratamiento. Asimismo, se consideró como caudal promedio 0.28 L/s, dicho dato fue brindado por el personal de la empresa.

Entonces, reemplazando los valores se obtiene lo siguiente:

Ecuación 3 *Determinación del volumen de la muestra simple del agua residual del lavado de contenedores refrigerados.*

$$\text{Alícuota del volumen total} = \frac{0.28 \times 26}{0.28 \times 4}$$

$$\text{Alícuota del volumen total} = 6.5 \text{ L}$$

Por lo tanto, se llevó a cabo la toma de 4 muestras puntuales de 6.5 L cada 2 horas hasta la formación del volumen de la muestra compuesta de 26 L.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Materiales

- Agua residual del lavado de contenedores refrigerados.
- Agua destilada marca Adesco Perú.
- Hidróxido de sodio al 50 %.
- Coagulante orgánico catiónico Tecnofloc 2204.
- Coagulante policloruro de aluminio (PAC) con concentración de aluminio al 12 % marca Tecnofloc.
- Coagulante cloruro férrico (FeCl_3) al 40 % marca Tecnofloc.
- Floculante Chemlok 2040 al 1 % (CH-2040).
- Carbón activado granular proveniente de la cáscara de coco marca CALGON GRC-20.
- Soluciones de Digestión marca SQA.

- Test de jarras de 4 puestos cuadrado marca Tecnochem.
- Balanza analítica SF-400C marca ECS.
- Multiparámetro HQ40d marca Hach.
- Reactor CR25 marca Rocker.
- Colorímetro CD200 marca Rocker.
- Turbidímetro 2100Q marca Hach.
- Pipeta de 1000 – 5000 ul marca Dragonlab.
- Cono Imhoff de 1 L.
- Equipo de Sistema de Posicionamiento Global modelo GPS60 marca Garmin.
- Multiparámetro modelo HQ11D marca Hach.

2.2.2. Instrumentos

2.2.2.1. Ficha de identificación del punto de muestreo

El instrumento fue utilizado para recopilar información sobre el punto de muestreo con el fin de obtener coordenadas, dirección, evidencia fotográfica al momento del muestreo y una descripción concisa de las características del mismo (ANEXO n.º 6).

2.2.2.2. Cadena de Custodia e Informe de ensayo - Caracterización y Postratamiento

En las cadenas de custodias se registraron datos como la fecha y hora de la toma de muestra, codificación, matriz y tipo de matriz, coordenadas del punto de muestreo, los parámetros a analizar (demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y turbidez), tipo de envase utilizado para la muestra (vidrio o plástico), los reactivos que se usaron para preservar las muestras y los valores de las concentraciones de los parámetros como pH y temperatura que fueron medidos in situ por el multiparámetro modelo HQ11D marca

Hach (a excepción de la muestra postratamiento) a fin de tener un seguimiento del muestreo (ANEXO n.º 7).

En los informes de ensayo, se evidenciaron los datos del autor, dirección del lugar de muestreo, procedencia, código del punto de muestreo, fecha y hora de muestreo, métodos utilizados por el laboratorio para el análisis de los parámetros evaluados y los resultados obtenidos del análisis de la muestra (ANEXO n.º 8).

En la tabla 1 se muestra los instrumentos utilizados en la presente investigación.

Tabla 1

Instrumentos para la recolección de datos

Etapa	Fuente	Instrumento	Resultado
Identificación punto de muestreo	Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario D. S. N° 010-2019-VIVIENDA	Instrumento N° 1: Ficha de identificación del punto de muestreo	Identificación y descripción del punto de muestreo.
Análisis de la muestra del agua residual pre y postratamiento	Analytical Laboratory E. I. R. L (ALAB)	Instrumento N° 2: Cadena de Custodia e Informe de Ensayo – Caracterización y Postratamiento	Concentración de SST, DQO, DBO ₅ , AyG, turbidez y pH, para el control y vigilancia del estado de la muestra

Nota: Se menciona los instrumentos de recolección aplicados en el experimento.

2.2.3. Métodos

El muestreo compuesto del agua residual del lavado de contenedores refrigerados se realizó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 214.060 2016 Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado (INACAL, 2016) y las muestras puntuales para la caracterización fueron realizadas de acuerdo a la metodología del laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. (ALAB) la cual está acreditada por el Instituto Nacional de Calidad

(INACAL) para el aseguramiento y control de la calidad del muestreo. En la tabla 2 se muestra la metodología utilizada por dicho laboratorio para la toma de muestras:

Tabla 2

Metodología aprobada por INACAL y utilizada por ALAB

Ensayo	Método	Año	Unidad
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method	2017	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-day BOD Test.	2017	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. Solids Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.	2017	mg/L
Aceites y Grasas (AyG)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed Oil and Grease. Liquid – Liquid, Partition-Gravimetric Method	2017	mg/L
Potencial de Hidrógeno (pH)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. pH Value Electrometric Method.	2017	Unidad de pH
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. Turbidity. Nephelometric Method.	2017	UNT

Nota: “SMEWW” significa Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

El parámetro Potencial de Hidrógeno fue medido in situ.

2.3. Procedimiento

El procedimiento del presente proyecto de investigación se realizó mediante 8 etapas:

2.3.1. Ubicación del punto de muestreo

La empresa M.P.S.A. – Sede Reefer Center, se encuentra ubicada en la Av. Argentina N° 2495, distrito de Callao, provincia Constitucional del Callao, Perú (ANEXO n.º 5).

2.3.2. Caracterización de las aguas residuales

La caracterización de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados fue importante para tener una información aproximada del grado de contaminación en la que se encuentran y mostrar de forma general su composición. Se realizaron muestreos puntuales los días 3 y 6 de febrero del 2021, a fin de tener valores

estadísticamente confiables de los cuales se halló un promedio de los valores de cada parámetro analizado establecidos en el Anexo N° 1 de los Valores Máximos Admisibles del D. S. N° 010-2019-VIVIENDA, como DBO₅, DQO, SST, AyG; así como el pH del Anexo N° 2. La turbidez se tomó como indicador del grado de contaminación. Los parámetros fueron analizados mediante los métodos presentados en la tabla 2.

Se realizó el rotulado de cada envase, indicando el tipo de matriz, el código, fecha y hora de muestreo, responsable del muestreo, así como el preservante usado (se usó H₂SO₄ para DQO y AyG). Luego de cada muestreo se realizó el llenado de la cadena de custodia y finalmente las muestras fueron trasladadas al laboratorio ALAB.

2.3.3. Toma de muestra

Para la toma de muestra se tuvo en cuenta la Norma Técnica Peruana NTP 214.060 2016 “Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado” de INACAL (2016), el cual constituyó de muestras puntuales de 6.5 litros tomadas cada 2 horas durante el periodo total de 8 horas, para así formar una muestra completa con volumen final de 26 litros de muestra.

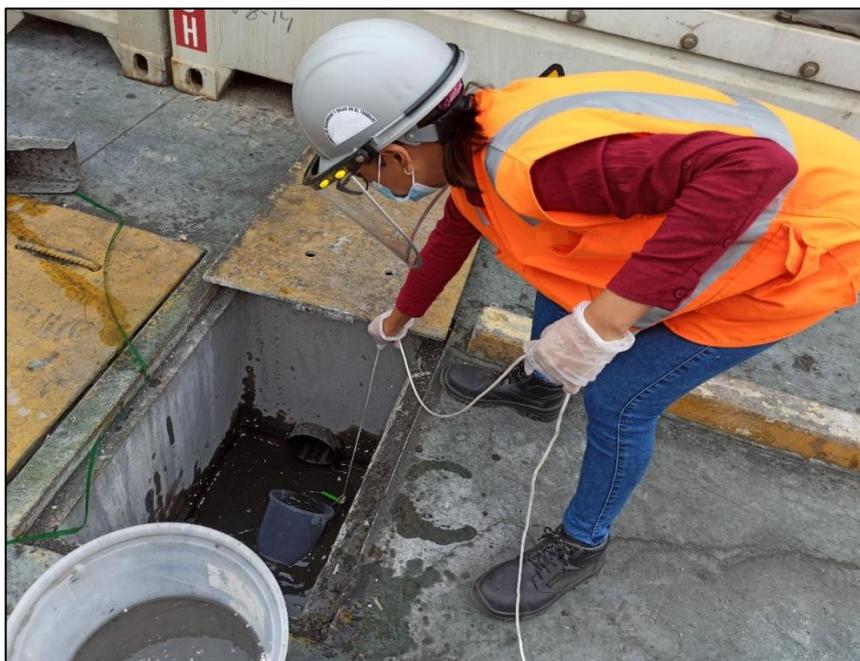


Figura 1. Toma de muestras del agua residual proveniente del lavado de contenedores refrigerados.

2.3.4. Pruebas experimentales de coagulación-floculación

Se empleó un diseño factorial completo general a través del programa estadístico Minitab 18 para las variables independientes “tipo de coagulante” y “dosis de coagulante” tal como se muestra en la tabla 3. No se utilizó la variable independiente “dosis de floculante” debido a que el valor fue constante para todos los tratamientos.

Tabla 3

Factores y niveles del proceso de coagulación-floculación

Factores	Niveles		
	Coagulante orgánico (CO)	Cloruro Férrico (CF)	Policloruro de aluminio (PA)
Tipo de coagulante			
Dosis de coagulante	1 ml/l	1 ml/l	1 ml/l
	2 ml/l	2 ml/l	2 ml/l
	3 ml/l	3 ml/l	3 ml/l
Dosis de floculante	3 ml/l	3 ml/l	3 ml/l

Nota: Para la elaboración del diseño factorial completo general se utilizaron las variables tipo y dosis de coagulante.

Cada tratamiento se realizó por triplicado teniendo 9 tipos de tratamientos y 27 corridas en total como se establece en la tabla 4, siendo las variables respuesta del diseño fue el porcentaje de remoción de DQO (%) y turbidez (%).

Tabla 4

Diseño factorial del experimento en coagulación-floculación

Coagulante	Tratamiento	Repeticiones	Código	Dosis se coagulante (ml/L)	Dosis de floculante CH-2040 (ml/L)
Coagulante Orgánico (CO)	T0	1	TO-R1	-	-
			T1-CO-R1	1	3
			T1-CO-R2	1	3
	T1	3	T1-CO-R3	1	3
			T2-CO-R1	2	3
			T2-CO-R2	2	3
			T2-CO-R3	2	3
			T3-CO-R1	3	3
			T3-CO-R2	3	3
	T3	3	T3-CO-R3	3	3
			T1-CF-R1	1	3
			T1-CF-R2	1	3
T1-CF-R3			1	3	
T2-CF-R1			2	3	
T2-CF-R2			2	3	
Cloruro Férrico (CF)	T2	3	T2-CF-R3	2	3
			T3-CF-R1	3	3
			T3-CF-R2	3	3
			T3-CF-R3	3	3
			T1-PA-R1	1	3
			T1-PA-R2	1	3
Policloruro de aluminio (PA)	T1	3	T1-PA-R3	1	3
			T2-PA-R1	2	3
			T2-PA-R2	2	3

		T2-PA-R3	2	3
		T3-PA-R1	3	3
T3	3	T3-PA-R2	3	3
		T3-PA-R3	3	3

Nota: Se expone de forma ordenada los criterios aplicados por cada tratamiento en sus tres repeticiones. El T0 es el grupo control.

Las muestras colectadas tenían un nivel de pH ácido, por lo que se ajustó el pH inicial cerca de 7 para que se realice el proceso de C-F en condiciones alcalinas; para ello se añadió una dosis de 3 ml de NaOH 50 %/L agua residual. Luego, se introdujo dichas muestras en 4 vasos de precipitado de 500 ml de capacidad, donde 1 fue la muestra control y en los 3 restantes se realizaron los tratamientos. Los vasos fueron colocados en un equipo de Test de jarras de 4 puestos cuadrado, donde se añadió coagulante orgánico de poliamina (CO) teniendo en cuenta las dosis del Tratamiento 1 fue de 1 ml/l (0.5 ml/500 ml), el tratamiento 2 fue de 2 ml/l (1 ml/500ml) y el tratamiento 3 fue 3 ml/L (1.5 ml/500 ml), realizando tres repeticiones por cada tratamiento en simultáneo a una agitación constante de 200 rpm por 1 minuto (mezcla rápida).

Después, para el proceso de floculación se adicionó el floculante CH-2040 a una dosis constante de 3 ml/L (1.5 ml/500 ml) en cada repetición por cada tratamiento a una agitación de 40 rpm por 5 minutos (mezcla lenta). Finalmente, se retiraron los vasos del equipo de jarras y se dejó reposar por 30 minutos para la sedimentación completa de los flóculos formados. Cabe mencionar que, el número de revoluciones, el tiempo de agitación, así como el tiempo de sedimentación se basaron de acuerdo a la metodología de los autores Agreda & Domínguez (2018); Dioses (2019); Florez et al. (2016); Irfan et al. (2017); Oloibiri et al. (2015).

Se repitió el procedimiento con los coagulantes cloruro férrico al 40 % (CF) y policloruro de aluminio (PA).

Al finalizar el tiempo de sedimentación, se realizó la determinación de DQO mediante el método colorímetro de reflujo cerrado y la turbidez con el equipo Turbidímetro 2100Q marca Hach.



Figura 2. Proceso de Coagulación-Floculación aplicando Cloruro Férrico.

2.3.5. Método Colorímetro del Reflujo cerrado

Se siguieron los siguientes pasos para realizar la determinación de DQO:

2.3.5.1. Soluciones de digestión:

Las soluciones de digestión, conocidas como “viales” fueron adquiridas de la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C. (SQA) a fin de facilitar el procedimiento de determinación del valor de la DQO. A continuación, se muestra la obtención de los viales de acuerdo a Baird et al. (2017) cuya metodología se basa la empresa:

- a. Solución de digestión para rango bajo (2 - 80 mg O₂/L): Se disuelve cerca de 500 ml de agua destilada 1,022 g de K₂Cr₂O₇ (grado estándar primario previamente

secado a 150°C por 2h), luego 167 ml de H₂SO₄ y 33,3 g de HgSO₄; se disuelve, enfría y diluye a 1000 ml.

- b. Solución de digestión para rango alto (20 – 800 mg O₂/L): Se agrega a aproximadamente 500 ml de agua destilada 10,216 g de K₂Cr₂O₇ (grado estándar primario, previamente secado a 150 ° C durante 2 h), 167 ml de H₂SO₄ concentrado y 33,3 g de HgSO₄, se disuelve, enfría a temperatura ambiente y diluye a 1000 ml.

Para el presente estudio, se utilizó las soluciones de digestión para rango alto debido al mayor rango de lectura.

2.3.5.2. Disolución

Para determinar la DQO fue necesario diluir las muestras de agua tratadas; para ello se utilizó el patrón de 1/10. Por lo tanto, se tomó 1 ml de la muestra de agua tratada con una pipeta y se mezcló con 9 ml de agua destilada en un vaso de precipitado.

2.3.5.3. Proceso de digestión

El recipiente del vial adquirido tiene las siguientes características que se detalla a continuación:

Tabla 5

Característica del vial para rango alto

Recipiente de digestión	Muestra (ml)	Solución de digestión (ml)	Ácido Sulfúrico (ml)	Volumen final (ml)
16x100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5

Fuente: Adaptado de Baird et al. (2017).

De la tabla 5 se puede prescindir que solo se requirió de 2.5 ml de muestra diluida previamente para agregar al vial en un ángulo de 45°. Asimismo, se preparó una muestra en blanco en donde se colocó 2.5 ml de agua destilada al vial con el procedimiento indicado anteriormente. Después los viales fueron cerrados

herméticamente y sujetos para ser invertidos suavemente varias veces con el fin de mezclar la solución.

Luego, se encendió el reactor CR25 y se precalentó a 150 °C durante 15 minutos. Posteriormente los viales fueron limpiados con papel tisú y colocados al reactor durante 2 horas y finalmente se dejó enfriar por 30 minutos a temperatura ambiente en una gradilla para tubos de ensayo.

2.3.5.4. Medición de DQO

Una vez enfriados los viales, se encendió el equipo Colorímetro CD200 y cada tubo fue colocado previa limpieza con papel tisú. Se inició la medición con la muestra en blanco, presionando la tecla cero (para tarar a 0 mg O₂/L) y luego se procedió con el resto de muestras colocando la tecla leer.

Por último, los resultados fueron registrados y multiplicados por el factor de dilución como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 4 *Determinación de DQO*

$$\text{DQO (mg O}_2\text{/L)} = \frac{\text{mg O}_2 \text{ final}}{L} \times 10$$

Fuente: Adaptado de Soluciones Químicas Ambientales S.A.C. (2020).

2.3.5.5. Medición de la turbidez

Se utilizó 15 ml de cada muestra tratada para colocarlo en el frasco de medición del Turbidímetro 2100, el cual se calibró previamente. Cabe mencionar que los frascos con la muestra fueron limpiados con papel tisú antes de colocarlo al equipo.

2.3.6. Prueba experimental del proceso de adsorción

Para el proceso de adsorción se usó la muestra con la que se obtuvo mayor reducción de DQO obtenida del proceso de C-F, siendo el tratamiento 3 con el coagulante Cloruro Férrico. Se realizó nuevamente el proceso de coagulación – floculación con

la dosis empleada en dicho tratamiento en vasos de precipitado de 1 litro de volumen.

El sobrenadante fue colocado en la columna de adsorción. Se empleó una sola dosis de carbón activado granular y se varió el tiempo de contacto como se presenta en la tabla 6, las variables respuesta del diseño fue el porcentaje de remoción de DQO y turbidez.

Tabla 6

Factores y niveles del proceso de adsorción

Factores	Niveles	
Dosis de Carbón activado (g)	500	500
Tiempo de contacto (minutos)	5	10

Nota: Se expone los factores y niveles evaluados en el proceso de adsorción.

Las muestras se colocaron en el cono Imhoff que contenía 500 g de carbón activado granular originario de cáscara de coco para cada tratamiento. Cada tratamiento se realizó por triplicado obteniendo 2 tratamientos y 6 corridas en total como se establece en la tabla 7. Al finalizar, se realizó la determinación de DQO mediante el método colorímetro de reflujo cerrado y la turbidez con el equipo Turbidímetro 2100Q marca Hach.

Tabla 7

Diseño del proceso de adsorción

Tratamiento	Repeticiones	Código	Cantidad de Carbón activado (g)	Tiempo de contacto (minutos)
T0	1	M0-T0	-	-
		T1-A-R1	500	5
T1	3	T1-A-R2	500	5
		T1-A-R3	500	5
		T2-A-R1	500	10
T2	3	T2-A-R2	500	10
		T2-A-R3	500	10

Nota: Se expone de forma ordenada los criterios aplicados por cada tratamiento en sus tres repeticiones.

Los procesos de coagulación-floculación y adsorción se realizaron tal como se muestra en la figura 3.

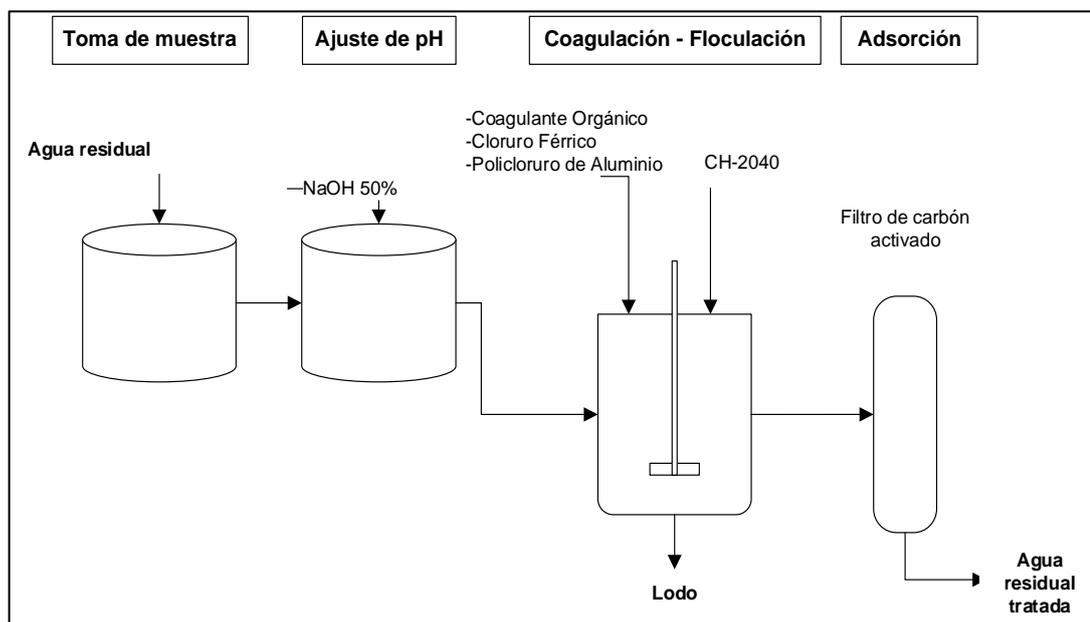


Figura 3. Diagrama de procesos de coagulación-floculación y adsorción aplicado en la investigación.

2.3.7. Análisis de muestras en el laboratorio

Luego de terminar el proceso de adsorción, se escogió las muestras del tratamiento que mayor remoción de DQO y turbidez obtuvo. Posteriormente, las muestras fueron envasadas, preservadas y rotuladas en los frascos correspondientes a los parámetros analizar (DBO₅, DQO, SST, AyG, pH, Turbidez) por ALAB, esto a fin de obtener resultados confiables y representativos después del tratamiento del sistema. Finalmente, se llenó la cadena de custodia correspondiente y fueron trasladados al laboratorio.

2.3.8. Análisis de datos

El análisis y procesamiento de los datos se efectuó mediante el programa estadístico Minitab Statistical Software 18, para el análisis de los resultados obtenidos en el proceso de C-F se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) brindando gráfica de

probabilidad normal, gráfica de varianza constante, gráfica de prueba de independencia, diagrama de Pareto, gráfica de efectos principales, gráfica de interacción y gráfica de contorno. Asimismo, se aplicó la prueba T student para el análisis de los resultados del proceso de Adsorción.

Se realizó la prueba de hipótesis con nivel de confianza del 95 % (nivel de significancia de 0.05). Esto a fin de que si el nivel de significancia fue menor que 0.05, entonces se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la alterna (H_1); por lo tanto, existió diferencia entre grupos. Caso contrario, si el nivel de significancia fue mayor a 0.05, se aceptó la hipótesis nula y se rechazó la alterna; lo que significa que no hubo diferencia entre los grupos.

Asimismo, se utilizó el programa Excel para la comparación y promediar los datos obtenidos.

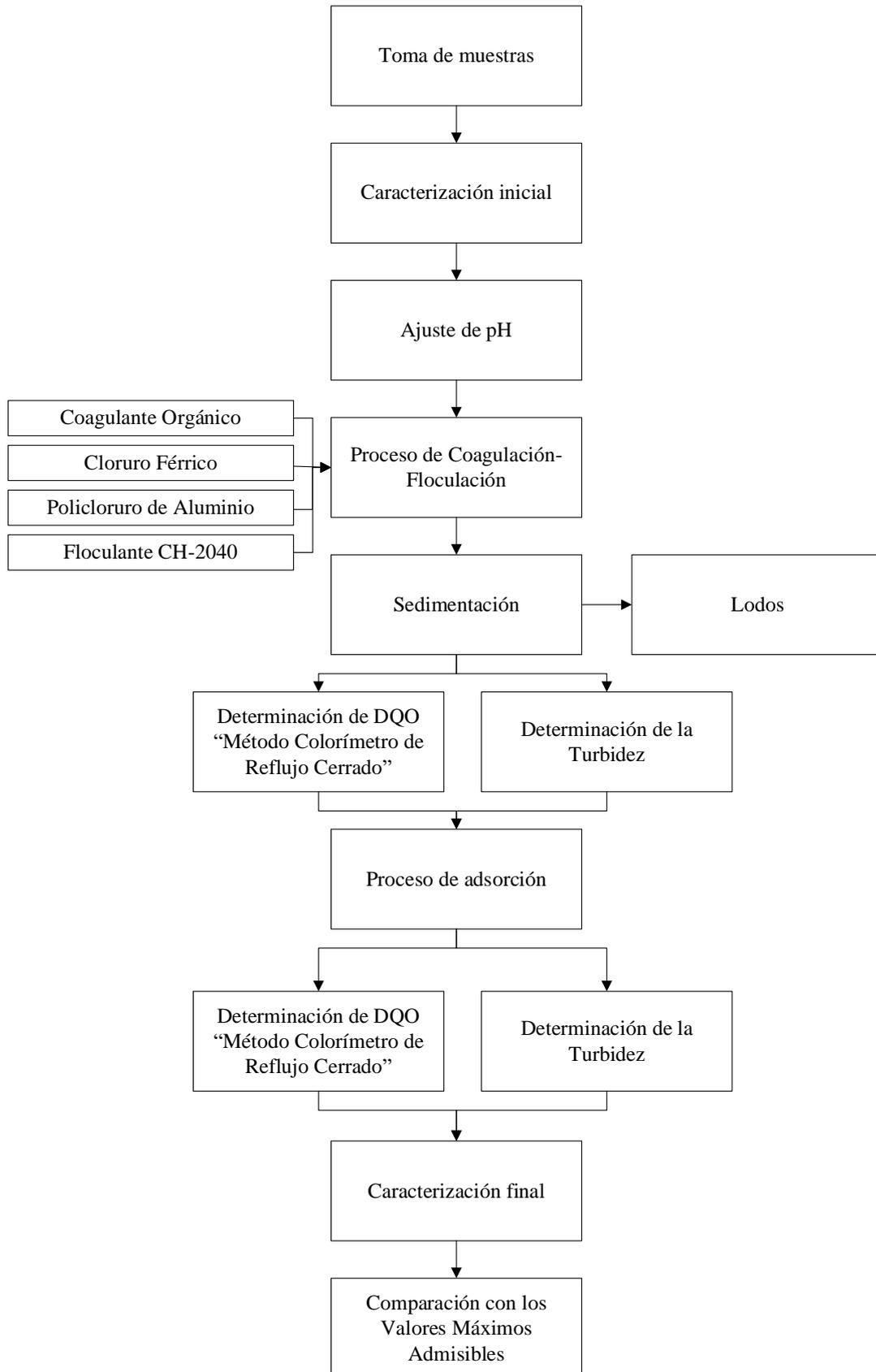


Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización inicial del agua residual

Para llevar a cabo el muestreo fueron tomadas en dos fechas en el mes de febrero. Las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados, cuyo caudal es de 0.28 L/s, fueron trasladadas y analizadas por Analytical Laboratory E.I.R.L., obteniéndose que presentan altos valores de carga de materia orgánica y sólidos suspendidos que sobrepasan los VMA; asimismo, alto valor de turbidez. Con respecto al parámetro de aceites y grasas, en el segundo muestreo supera la normativa. Además, las aguas se caracterizan por ser ácidas ya que presentan un valor menor a 6. En la tabla 8 se muestran los resultados de la caracterización inicial del agua residual del lavado de contenedores refrigerados.

Tabla 8

Caracterización Inicial del Agua residual

Parámetros	Unidad	Fecha de muestreos		Promedio	VMA
		3/02/2021	6/02/2021		
DBO ₅	mg/L	2299.5	1705	2002.3	500
DQO	mg/L	7161	6724	6942.5	1000
SST	mg/L	15144	16267	15705.5	500
AyG	mg/L	77.8	113	95.4	100
pH	Unidad de pH	4.41	3.4	3.9	6-9
Turbidez	UNT	-	550	550.0	-

Nota: Se presenta los resultados de la concentración del agua residual del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento.

En el ANEXO n.º 7 se adjunta los informes de ensayo y en el ANEXO n.º 8 las cadenas de custodia.

3.2. Análisis estadístico del proceso de Coagulación-Floculación

En la tabla 9 se muestra los valores obtenidos luego de la aplicación del proceso de C-F, observándose que presentan una remoción de DQO alta (más del 60 %) para los coagulantes orgánico y policloruro de aluminio; y el cloruro férrico presenta muy alta

(más del 80 %). De forma similar, todos los tratamientos aplicados removieron más de 90 % de turbidez.

Tabla 9

Resultados del proceso de Coagulación-Floculación

Coagulante	Tratamiento	Código	Dosis se coagulante (ml/L)	Dosis de floculante CH-2040 (ml/L)	Promedio DQO (mg/L)	% Remoción DQO	Promedio Turbidez (UNT)	% Remoción Turbidez
Coagulante Orgánico (CO)	T1	T1-CO	1	3	2384.60	65.65%	4.94	99.10%
	T2	T2-CO	2	3	1956.20	71.82%	5.54	98.99%
	T3	T3-CO	3	3	1567.57	77.42%	5.45	99.01%
Cloruro Férrico (CF)	T1	T1-CF	1	3	1114.13	83.95%	2.50	99.55%
	T2	T2-CF	2	3	1049.07	84.89%	4.67	99.15%
	T3	T3-CF	3	3	881.80	87.30%	2.30	99.58%
Policloruro de aluminio (PA)	T1	T1-PA	1	3	1924.73	72.28%	2.66	99.52%
	T2	T2-PA	2	3	1700.03	75.51%	2.24	99.59%
	T3	T3-PA	3	3	1503.43	78.34%	11.47	97.91%

Nota: Se presenta los resultados promedio obtenido de las 3 repeticiones por cada tratamiento para el Coagulante Orgánico, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio.

A continuación, se muestran los resultados del análisis estadístico del diseño factorial obtenidos a partir de la tabla 9.

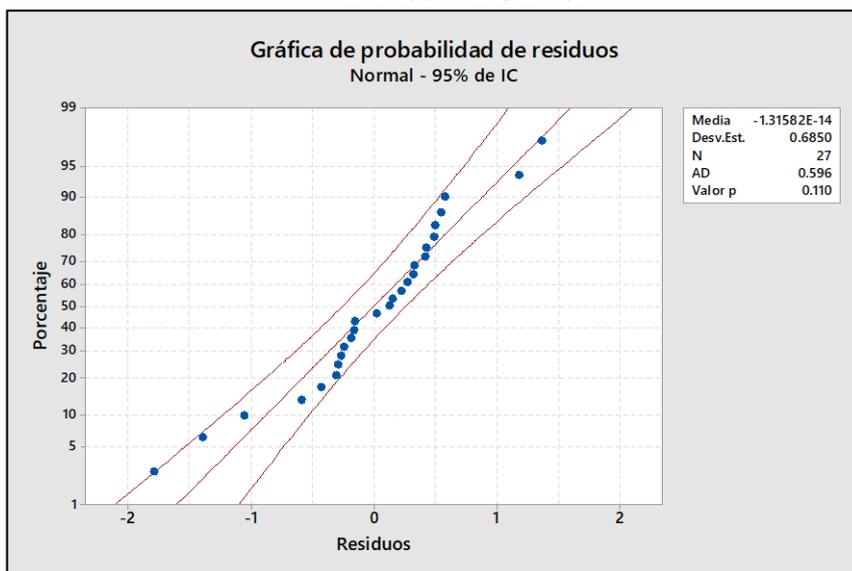


Figura 5. Probabilidad normal.

En la figura 5 los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. Entonces:

H_0 : Si $p > 0.05$, entonces los datos siguen una distribución normal.

H_a : Si $p < 0.05$, entonces los datos no presentan una distribución normal.

El valor p (0.110) es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

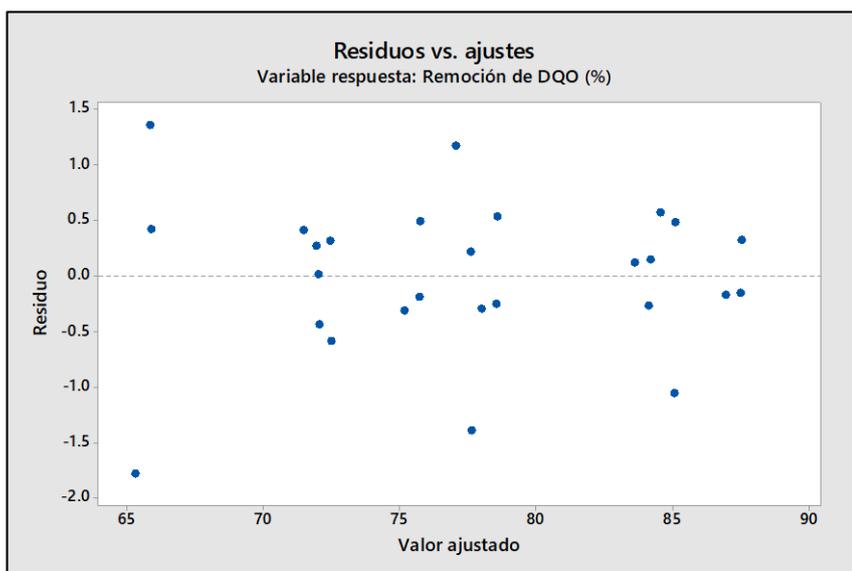


Figura 6. Varianza constante.

En la figura 6 los residuos están distribuidos aleatoriamente y la varianza en los diferentes tratamientos son aproximadamente iguales, por lo tanto, la varianza es constante.

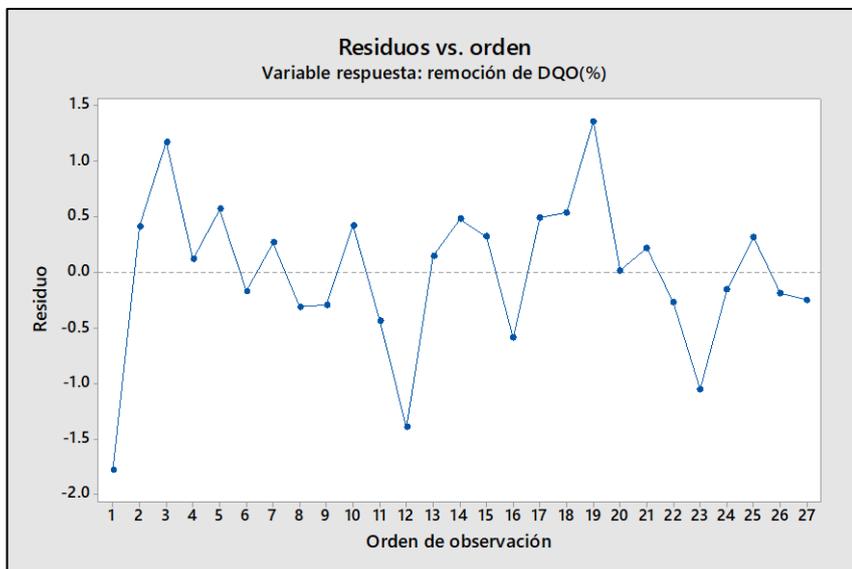


Figura 7. Prueba de Independencia.

En la figura 7 los residuos son independientes ya que no muestran tendencias ni patrones en el orden cronológico. No hay evidencia de patrones ni correlación. Los puntos se ubican aleatoriamente alrededor de la línea central.

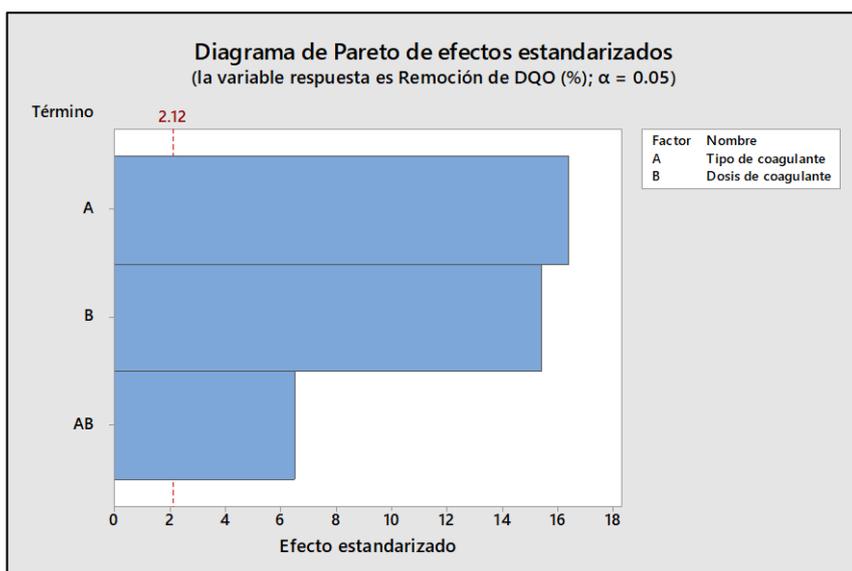


Figura 8. Diagrama de Pareto.

De la figura 8 se puede deslindar que el tipo de coagulante (A) y la dosis de coagulante (B) influyen en magnitud en el porcentaje de remoción de la DQO, así como la interacción de tipo de coagulante y la dosis de coagulante (AB). Los factores y las interacciones influyen positivamente en la variable respuesta (remoción de la DQO) ya que sobrepasan el nivel de referencia de 2.12; dicho valor es generado por el programa de acuerdo al nivel de significancia.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	1192.21	119.221	156.37	0.000
Bloques	2	1.85	0.925	1.21	0.323
Lineal	4	1133.66	283.415	371.72	0.000
Tipo de coagulante	2	909.25	454.624	596.28	0.000
Dosis de coagulante	2	224.41	112.206	147.17	0.000
Interacciones de 2 términos	4	56.70	14.176	18.59	0.000
Tipo de coagulante*Dosis de coagulante	4	56.70	14.176	18.59	0.000
Error	16	12.20	0.762		
Total	26	1204.41			

Figura 9. Análisis de Varianza (ANOVA) sobre remoción de DQO (%).

En la figura 9 se observa que el Valor $p = 0.000 < 0.05$. Es decir, las medias de los tratamientos del tipo de coagulante y de la dosis de coagulante influyen de manera significativa la remoción de la DQO del agua residual. Por lo tanto, existe diferencia significativa entre tratamiento para cada factor.

3.3. Dosis óptima de cada coagulante para el mayor porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y turbidez

A continuación, se evidencia los análisis estadísticos para determinar la dosis óptima de cada coagulante para el mayor porcentaje de remoción de DQO y turbidez.

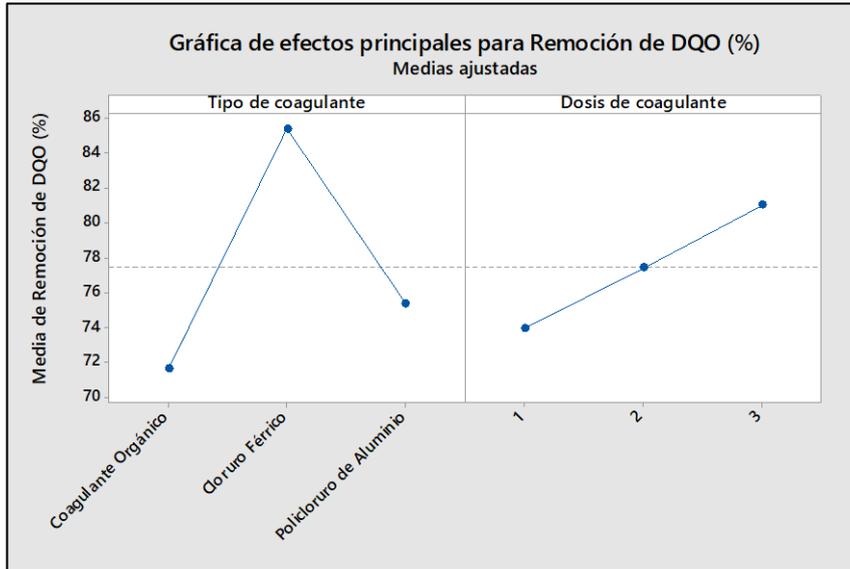


Figura 10. Efectos principales para la remoción de DQO (%).

En la figura 10 se observa que el factor tipo de coagulante tiene un mayor efecto de remoción que la dosis de Coagulante. A partir de ello, se deslinda que el cloruro férrico logra remover en mayor medida la DQO del agua residual (por encima de la media). Además, a medida que se aumenta la dosis de coagulante se logra remover la DQO en mayor porcentaje de acuerdo a nuestro resultado, la dosis óptima para cada coagulante fue de 3 ml/L.

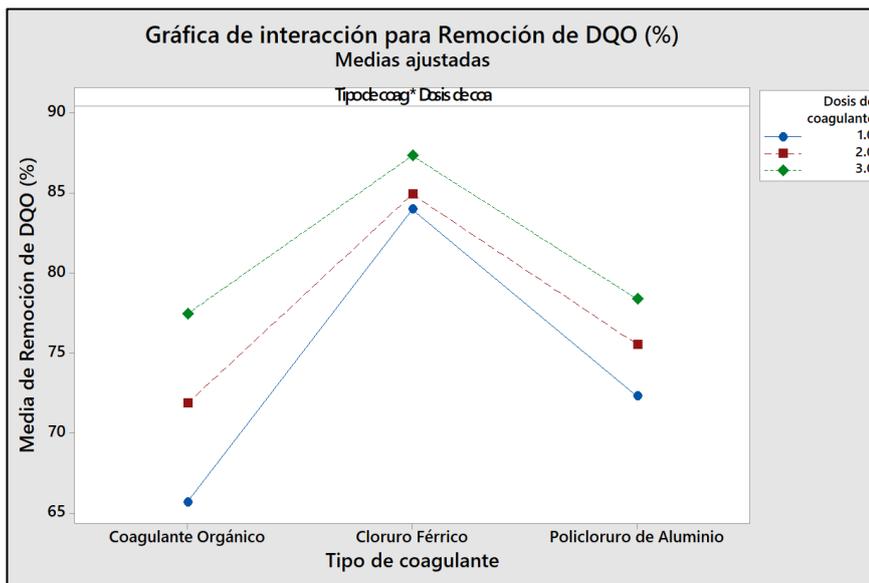


Figura 11. Gráfica de interacción.

De la figura 11 se precisa que se obtiene una mayor remoción de la DQO utilizando el coagulante cloruro férrico a una dosis de 3 ml/L.

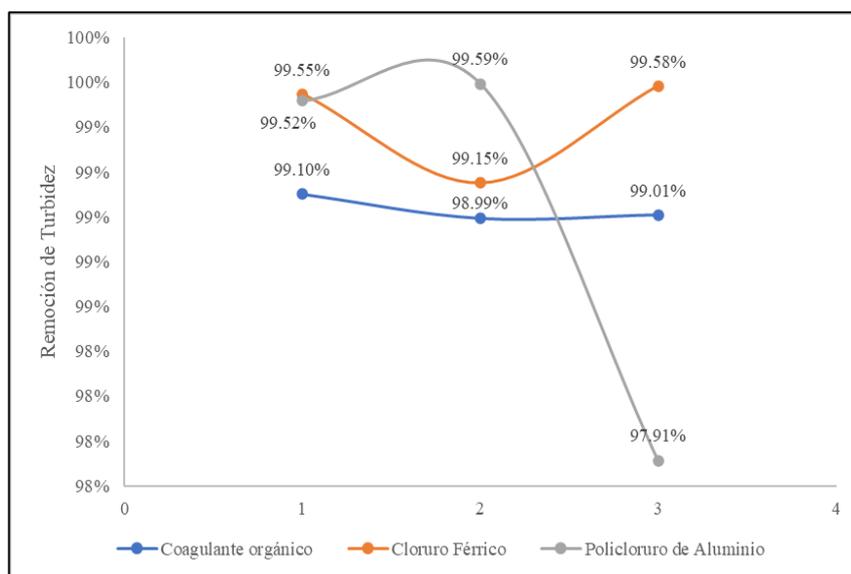


Figura 12. Promedio de remoción de turbidez con respecto al tipo y dosis de coagulante.

De la figura 12 se puede deslindar que no hay diferencia entre el tipo y dosis de coagulante a usar para obtener una remoción de turbidez mayor del 90 %.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	9.1425	0.9143	0.89	0.559
Bloques	2	2.3989	1.1994	1.17	0.335
Lineal	4	2.4712	0.6178	0.60	0.665
Tipo de coagulante	2	0.9871	0.4935	0.48	0.626
Dosis de coagulante (ml/l)	2	1.4841	0.7421	0.73	0.499
Interacciones de 2 términos	4	4.2725	1.0681	1.04	0.415
Tipo de coagulante*Dosis de coagulante (ml/l)	4	4.2725	1.0681	1.04	0.415
Error	16	16.3711	1.0232		
Total	26	25.5137			

Figura 13. Análisis de Varianza (ANOVA) sobre remoción de Turbidez.

En la figura 13 se observa que el Valor p es mayor a 0.05 para tipo y dosis de coagulante. Por lo tanto, las medias de los tratamientos del tipo de coagulante y de la dosis de coagulante no influyen de manera significativa en la remoción de la Turbidez

del agua residual ya que los valores de los resultados son similares. Por lo tanto, no existe diferencia significativa entre tratamiento para remover la turbidez.

3.4. Análisis estadístico del proceso de adsorción

Para este proceso se utilizó el agua residual tratada con 3 ml de cloruro férrico (T3-CF), la cual fue colocada en el cono Imhoff que contenía carbón activado. En la tabla 10 se muestran los resultados del tratamiento del agua residual con carbón activado durante 5 minutos (T1-A) y 10 minutos (T2-A) donde a cada tratamiento se realizó 3 repeticiones.

Tabla 10

Resultados del proceso de Adsorción

Tratamiento	Código	Cantidad de Carbón activado (g)	Tiempo de contacto (minutos)	Promedio DQO (mg/L)	% Remoción DQO	Promedio Turbidez (UNT)	% Remoción Turbidez
T1	T1-A	500	5	92.90	89.46%	0.86	61.61%
T2	T2-A	500	10	79.37	91.00%	0.57	74.55%

Nota: Se presentan los resultados de remoción de DQO y turbidez obtenidos solo en el proceso de adsorción.

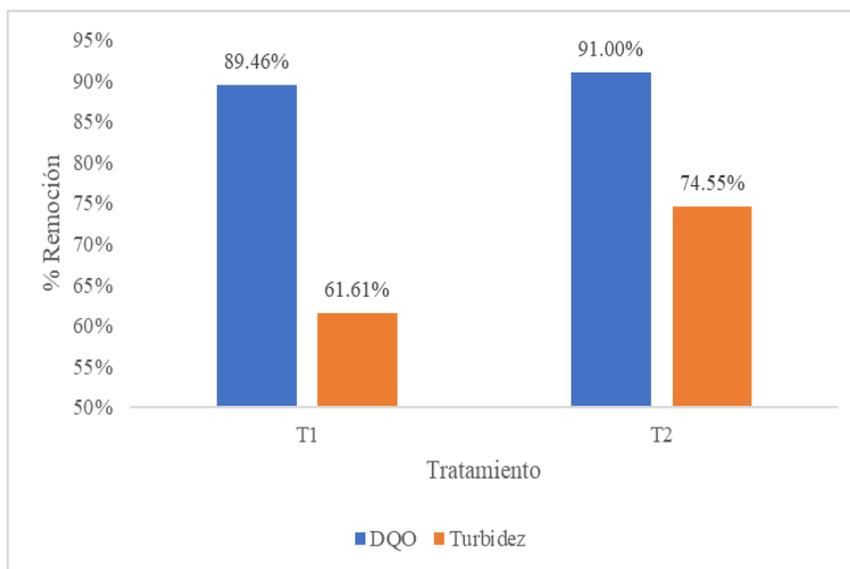


Figura 14. Remoción promedio de DQO y Turbidez en el proceso de Adsorción.

En la figura 14 se muestra que en el tratamiento 2 se obtuvo mejores resultados de remoción de DQO y turbidez con 91 % y 74.55 %, a diferencia del tratamiento 1 con 89.46 % y 61.61 % de DQO y turbidez, respectivamente.

Prueba de Hipótesis con T Student

- Hipótesis estadísticas en base a remoción de DQO (%):

H_0 : No existe diferencias estadísticamente significativas entre la media de la remoción de DQO (%) del T1 con un tiempo de contacto en carbón activado de 5 minutos y el T2 con un tiempo de contacto en carbón activado de 10 minutos.

H_a : Existe diferencias estadísticamente significativas entre la media de la remoción de DQO (%) del T1 con un tiempo de contacto en carbón activado de 5 minutos y el T2 con un tiempo de contacto en carbón activado de 10 minutos.

Realizando la aplicación del programa Minitab se obtiene lo siguiente:

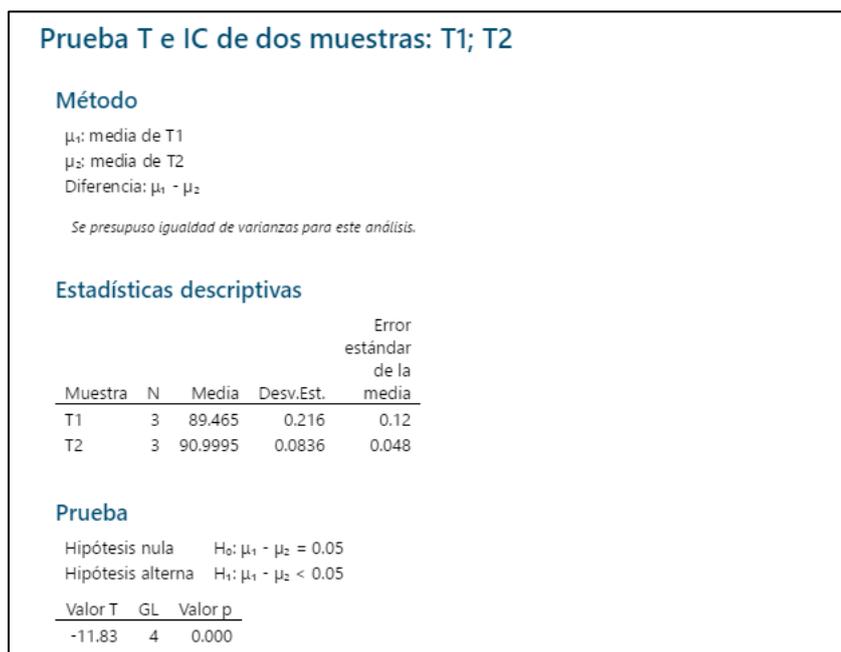


Figura 15. Prueba T de datos en base a remoción de DQO (%).

En la figura 15 se muestra que el Valor p es de $0.00 < 0.05$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula por lo que se acepta la hipótesis alterna indicando existe diferencias

estadísticamente significativas entre la media de la remoción de DQO (%) del T1 con un tiempo de contacto en carbón activado de 5 minutos y el T2 con un tiempo de contacto en carbón activado de 10 minutos.

- Hipótesis estadísticas en base a remoción de Turbidez (%):

H0: No existe diferencias estadísticamente significativas entre la media de la remoción de Turbidez (%) del T1 con un tiempo de contacto en carbón activado de 5 minutos y el T2 con un tiempo de contacto en carbón activado de 10 minutos.

Hb: Existe diferencias estadísticamente significativas entre la media de la remoción de Turbidez (%) del T1 con un tiempo de contacto en carbón activado de 5 minutos y el T2 con un tiempo de contacto en carbón activado de 10 minutos.

Realizando la aplicación del programa Minitab se obtiene lo siguiente:

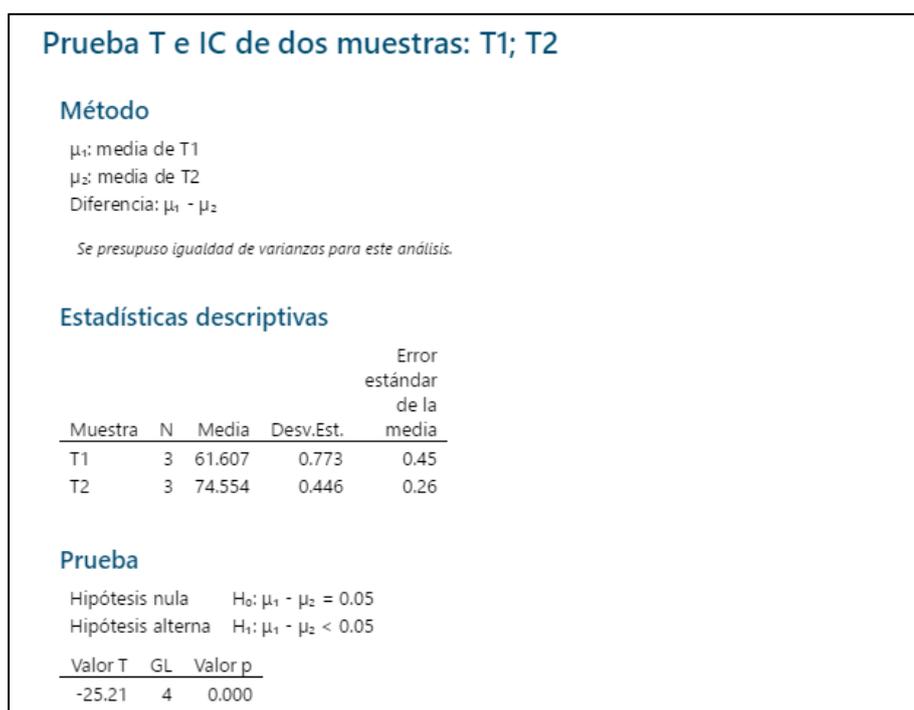


Figura 16. Prueba T de datos en base a remoción de Turbidez (%).

En la figura 16 se muestra que el Valor p es de $0.00 < 0.05$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, entonces se acepta la hipótesis alterna indica que existe diferencias

estadísticamente significativas entre la media de la remoción de turbidez (%) del T1 con un tiempo de contacto en carbón activado de 5 minutos y el T2 con un tiempo de contacto en carbón activado de 10 minutos.

3.5. Reducción de los parámetros fisicoquímicos las aguas residuales después del tratamiento por el sistema de Coagulación-Floculación y Adsorción

Luego de aplicar el proceso de Coagulación-Floculación y Adsorción, los parámetros obtuvieron una remoción mayor del 90 %, considerándose una remoción muy alta. En la tabla 11 se compara la caracterización de las aguas residuales antes y después de la aplicación del proceso donde se obtuvo una concentración promedio inicial de 2002.25 mg/L de DBO₅; posterior a la aplicación del tratamiento se determinó una menor concentración que equivalió a 37.8 mg/L representando el 98.11 % de remoción. También se obtuvo una concentración promedio inicial de 6942.5 mg/L de DQO; posterior a la aplicación del tratamiento se determinó una menor concentración que equivalió a 78 mg/L representando el 98.88 % de remoción. Luego, se tuvo una concentración promedio inicial de 15705.5 mg/L de SST; posterior a la aplicación del tratamiento se determinó una menor concentración que equivalió a 25 mg/L representando el 99.84 % de remoción. Después, se obtuvo una concentración promedio inicial de 95.4 mg/L de Aceites y Grasas; posterior a la aplicación del tratamiento se determinó una menor concentración que equivalió a 0.48 mg/L representando el 99.50 % de remoción. Posteriormente, se determinó una concentración promedio inicial de 3.9 unidad de pH; luego de la aplicación del tratamiento se obtuvo una mayor concentración que equivalió a 7.5 unidad de pH. Los parámetros cumplen con los Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Con respecto al parámetro turbidez, se identificó la concentración inicial de 550 UNT; posterior a la aplicación del tratamiento se determinó una menor concentración de 0.55 UNT representando el 99.9 % de remoción. A pesar de no existir VMA para este parámetro; en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 1 “Poblacional y Recreacional”, Subcategoría B “Aguas Superficiales destinadas para recreación”, el resultado obtenido se encuentra dentro del ECA ya que es menor a 100 UNT.

Tabla 11

Reducción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales después del tratamiento por Coagulación-Floculación y Adsorción

Parámetros	Unidad	Caracterización Inicial	Caracterización Final	%Remoción	VMA	CUMPLIMIENTO
DBO ₅	mg/L	2002.25	37.8	98.11%	500	CUMPLE
DQO	mg/L	6942.5	78.00	98.88%	1000	CUMPLE
SST	mg/L	15705.5	25	99.84%	500	CUMPLE
AyG	mg/L	95.4	0.48	99.50%	100	CUMPLE
pH	unidad de pH	3.9	7.5	-	6-9	CUMPLE
Turbidez	UNT	550	0.55	99.90%	-	-

Nota: Se presenta la remoción final de los parámetros fisicoquímicos después del tratamiento por Coagulación-Floculación y Adsorción.

En el ANEXO n.º 7 se adjunta los informes de ensayo y en el ANEXO n.º 8 las cadenas de custodia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Las aguas residuales del proceso de lavado de contenedores presentaron altos valores de DQO, DBO₅, SST, y AyG, llegando a sobrepasar los VMA por lo que es necesario implementar un sistema de tratamiento previo a la descarga al alcantarillado. Estos resultados no son similares a los hallados por Analytical Laboratory E.I.R.L. (2019) puesto que las concentraciones de dichos parámetros se encontraban muy por debajo de los VMA con excepción de la DQO que si llegó a superar la norma (1714 mg/L). Las variaciones de las concentraciones de los parámetros mencionados se deben a la cantidad de solución de cada químico que se utiliza, a la cantidad de contenedores lavados y a los residuos encontrados en el contenedor refrigerado que pueden ser grasas, restos de materia orgánica (escamas, sangre, etc.) y sólidos (arena, lodo) (Torres, 2020).

Las concentraciones de DQO y DBO₅ alcanzaron un promedio de 6942.5 mg/L y 2002.3 mg/L respectivamente, debido a que en los contenedores refrigerados hay restos de grasas, sangre o materia orgánica de pescado o carnes (Torres, 2020), todo ello influye a la alta carga de materia orgánica en el agua (Guanilo, 1983; CONAMA, 1999; citados en Dioses, 2019). El análisis del índice de biodegradabilidad que proviene de la relación de DBO₅/DQO obtuvo un valor de 0.29 para el presente estudio, por lo que se puede afirmar que las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados son No biodegradables; entonces conviene tratarlo con técnicas fisicoquímicas que con procesos biológicos (Ardila et al., 2012), coincidiendo con Li, Hua, Zhou, Zhang, & Li (2010) y Oloibiri et al. (2015), ya que su tasa de DBO₅/DQO fue menor a 0.3 indicando que los lixiviados no podían ser tratados con sistemas biológicos.

La concentración de aceites y grasas fue de 77.8 mg/L y 113 mg/L, donde el último valor está fuera del VMA. Estas concentraciones se deben a la presencia de grasa en las superficies de los contenedores refrigerados provenientes de las carnes y pescados. Ante ello, es posible que suscite al deterioro del sistema de alcantarillado como la obstrucción en las tuberías ocasionando desbordamiento del sistema de alcantarillado y provocando malos olores (Husain et al. 2014 citado en Dioses, 2019).

El valor de la turbidez fue de 550 UNT, este valor está asociado al contenido de materia orgánica y polvo (CONAMA, 1999, citado en Dioses, 2019). A pesar de no existir un VMA para este parámetro, si las aguas residuales son vertidas al sistema de alcantarillado y luego son dispuestas a un cuerpo de agua, se generaría la reducción del nivel de claridad disminuyendo el ingreso de luz solar y desencadenaría una baja actividad fotosintética de las plantas y algas, afectando de forma negativa a los organismos acuáticos (Dioses, 2019).

La concentración promedio de los Sólidos Suspendidos Totales fue de 15705.5 mg/L superando al VMA, esto se debe la presencia de suciedad de los contenedores refrigerados como polvo y arena. Es sabido que los SST se relacionan con el aumento de la turbidez (Jiménez, 2001), por lo que también genera un impacto negativo al sistema de alcantarillado sanitario y a los cuerpos de agua.

A pesar de lo mencionado, se obtuvo valores similares Analytical Laboratory E.I.R.L. (2019) con respecto al parámetro de Potencial de Hidrógeno pues el agua residual se mantiene en condiciones ácidas debido al uso del producto químico SQP-RO-A que contiene como componente principal Ácido Fosfórico al 85 %. Las aguas residuales con estas características corroen el sistema de alcantarillado pues hacen que las tuberías se fracturen generando atoros o aniegos (Dioses, 2019).

En el proceso de C-F se obtuvo que con una dosis de 3 ml/L de Coagulante orgánico se reduce hasta el 72 % de DQO, lo cual es similar a lo obtenido por Dotto et al. (2019) quien aplicó coagulantes orgánicos extraídos de la moringa oleífera en muestras de aguas residuales de industria textil logrando hasta el 62.9 % de remoción. Mientras que con la turbidez se redujo en un 99.31 %, Godoy (2018) redujo el 98.94 % de reducción usando la Paleta de Tuna, pero difiere con Dotto et al. (2019) quien obtuvo el 62 %, pues indica que pH del agua residual influye en la disminución de los parámetros. Por tanto, es mejor realizar el tratamiento en condiciones alcalinas ya que en el de Dotto et al. (2019) se realizó en condiciones ácidas y obtuvo menores reducciones en los parámetros evaluados.

Por otra parte, con una dosis de 3 ml/L de cloruro férrico (equivalente a 8.7 g/L) se removió hasta el 87.83 % de DQO, de igual forma Long et al. (2017) usando 5g/L FeCl_3 como coagulante y 0.07 g/L de poliacrilamida como floculante en muestras de lixiviados redujo el 82 % de DQO; de formar similar, Irfan et al. (2017) en aguas residuales de una fábrica de papel obtuvo una remoción de 72 % con 40 ml/L de FeCl_3 usando como floculante la poliacrilamida aniónica a una dosis de 4 ml/L. En contraste con los siguientes autores como Oloibiri et al. (2015), Li et al. (2010), Dioses (2019) y Rana & Suresh (2017) redujeron entre el 54 % a 66 % de DQO a un rango de dosis de 4 mg/L a 1000 mg/L, sus remociones fueron menores ya que no utilizaron floculantes. Por otra parte, el cloruro férrico llegó a reducir el 99.7 % de turbidez, coincidiendo con Dioses (2019), Oloibiri et al. (2015) y Guerreiro et al. (2016) quienes redujeron el 99.02 %, 97 % y 94.3 %, respectivamente. A partir de lo mencionado, se demuestra que el uso de floculantes en el proceso es indispensable concordando con Long et al. (2017) e Irfan et al. (2017) puesto que facilita la

formación de flóculos, además de lograr la mayor reducción de los parámetros evaluados. Según Dioses (2019), Florez et al. (2016), Irfan et al. (2017); Li et al. (2010); Long et al. (2017); Oloibiri et al. (2015); Rana & Suresh (2017) quienes concluyen que el FeCl_3 es más efectivo pues remueve gran porcentaje de materia orgánica debido a su facultad de formar rápidamente flóculos más pesados y de mayor velocidad de asentamiento a diferencia de las sales de aluminio y coagulantes orgánicos que no presentan buena consistencia de separación con el agua.

Con respecto al Policloruro de Aluminio (PAC) con una dosis de 3 ml/L (equivalente a 3.75 g) removió el 79.09 % de DQO, de manera similar, Rodríguez & Zapata (2015) con una dosis 1200 mg/L de PAC y 4 mg/L de floculante catiónico redujo 71 %; mientras que Li et al. (2010) y Oloibiri et al. (2015) el 61 % con 600 mg/L de PAC y el 58 % con 1000 mg/L respectivamente. Por otra parte, la turbidez llegó hasta el 99.71 % de reducción, coincidiendo con Alcarraz & Inche (2014) que redujo el 98.10 % con 50 mg/L PAC y 0.1 mg/L de poliacrilamida, así como también Agreda & Domínguez (2018) removiendo el 92 % con 200 mg/L de PAC y 40 mg/L de Floculante Aniónico. Por ende, se observa que con este coagulante es importante determinar la dosis óptima, pues para obtener mayor remoción es necesario el aumento de la dosis.

En cuanto al uso del floculante empleado, favoreció a la formación de flóculos para una mayor remoción de dicho parámetro. Estos generan menor volumen de lodos en un menor tiempo ya que al tener un alto peso molecular hace más compactos, altamente resistente y más voluminosos los flóculos formados por los coagulantes; lo que favorece la velocidad de sedimentación de los flóculos, esto significa que el

tiempo se reduce en esta etapa (Irfan et al. ,2017; Long et al. ,2017; y Rodríguez & Zapata , 2015).

Sobre la condición del nivel de pH, los porcentajes de reducción de DQO y turbidez fueron mayores que los obtenidos por Dioses (2019); Dotto et al. (2019); Florez et al. (2016); Godoy (2018); Rana & Suresh (2017) quienes también realizaron sus estudios en condiciones alcalinas con los coagulantes orgánicos, sales de aluminio y cloruro férrico. Por el contrario, Li et al. (2010), Long et al. (2017) y Rodríguez & Zapata (2015) lograron mayor eficiencia en condiciones ácidas con el cloruro férrico. Esto se debe a que los coagulantes trabajarán a diferentes niveles de pH, algunos mejor en condiciones alcalinas que ácidas y viceversa, y ello dependerá de las características del agua a tratar.

En cuanto al proceso de adsorción, se removió de 89.46 % de DQO en 5 minutos de contacto, mientras que con 10 minutos de contacto se alcanzó 91 %, siendo similar a lo obtenido por Espinal (2017) y Apolitano & Cevallos (2018) reduciendo el 96.06 % y 95.5 % respectivamente; no obstante, Oloibiri et al. (2015), Li et al. (2010), Meng et al. (2018) y Mohammad-pajoooh et al. (2018) obtuvieron valores inferiores de entre 53 % a 71.63 % de reducción. Sobre el tiempo de contacto, se comprobó que fue suficiente 5 minutos de contacto para obtener altos porcentajes de reducción lo cual es conveniente para la viabilidad económica del tratamiento, concordando con Foo et al. (2013), Meng et al. (2018) y Apolitano & Cevallos (2018). Sobre la dosis de carbón activado, estudios como Oloibiri et al. (2015), Li et al. (2010) Foo et al. (2013), Meng et al. (2018), Espinal (2017) y Apolitano & Cevallos (2018) utilizaron dosis entre 1 a 1000 g/L de carbón activado, coincidieron en que a mayor dosis de adsorbente, la reducción de DQO incrementaba; no obstante, al llegar a cierto valor la

eficiencia de reducción ya no aumentaba, por lo que dependerá de las características del agua a tratar y el tiempo de contacto, principalmente.

Por último, el proceso de coagulación, floculación y adsorción redujo el 98.11% de DBO₅, 98.88% de DQO, 99.84% de SST y 99.50%, Aceites y Grasas; siendo superiores a lo obtenido por Espinal (2017) quien removió el 55.92 % de DBO₅, 96.06 % de DQO, 64.81% de SST, 99.90 % de Aceites y Grasas; Li et al. (2010) redujo el 86 % de DQO, mientras que Oloibiri et al. (2015) logró la eliminación del 53 % de DQO.

4.2. Conclusiones

- El sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio reduce los parámetros físicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.
- Los parámetros físicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento presentaron altos valores, donde la DBO₅, DQO, SST, Aceites y Grasas y pH se encontraban fuera de los VMA.
- La dosis óptima para cada coagulante fue de 3 ml/L, siendo el más efectivo el Cloruro Férrico (FeCl₃) pues redujo hasta el 87.30 % y 99.58% de DQO y turbidez, respectivamente. Aunque estadísticamente, la influencia de la dosis y tipo de coagulante influyó de forma significativa en la remoción de DQO, mientras que resultó indistinto con la remoción de turbidez.
- Se determinó que después del tratamiento por coagulación-floculación y adsorción se redujo con respecto a la caracterización inicial el 98.11 %, 98.88 %, 99.84 %, 99.50 % de DBO₅, DQO, SST, Aceites y Grasas respectivamente; así como el pH pasó de 3.9 a 7.5 unidad de pH, evidenciando que los parámetros

evaluados cumplen con los Valores Máximos Admisibles por lo tanto pueden verterse a la red de alcantarillado sin generar graves consecuencias a la infraestructura sanitaria ni al medio ambiente.

4.3. Recomendaciones

- Se recomienda evaluar el volumen de lodos generados por el Cloruro Férrico en el proceso de Coagulación-Floculación y analizarlos para determinar su toxicidad debido a la presencia de metales y así evaluar su manejo o reaprovechamiento para su transformación según el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA “Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” y de acuerdo a la R.M. N° 093-2018-VIVIENDA “Protocolo de Monitoreo de Biosólidos”.
- Se recomienda evaluar diferentes dosis de carbón activado menores a 500 gramos con la finalidad de ahorrar recursos y estimar el tiempo de la saturación del carbón activado granular para finalmente disponerlo como residuo peligroso o evaluar su reúso mediante la reactivación en un horno a 700 °C.
- Evaluar la factibilidad de reutilización del agua residual tratada en el lavado de contenedores de acuerdo a sus características fisicoquímicas.
- Se recomienda continuar la investigación a escala prototipo a fin de usarse como base para próximos estudios y como referente para otras empresas del sector para tratar las aguas residuales generadas en el lavado de contenedores refrigerados.

REFERENCIAS

- Agreda, A., & Domínguez, T. (2018). Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno de efluentes de curtiembre pretratados mediante coagulación-floculación (Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11438>
- Aguilar, M., Ortuño, J., Soler, A., & Sáez, J. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-floculación. Recuperado de <https://n9.cl/clzoe>
- Alcarraz, M., & Inche, J. (2014). Tratamiento de efluentes de una planta procesadora de frutas. *Industrial Data*, 13(2), 099. <https://doi.org/10.15381/idata.v13i2.6199>
- Analytical Laboratory E.I.R.L. (2019). Informe de Monitoreo de Agua Residual No doméstica de Medlog Perú Reefer Center S.A. (p. 18) [Informe de Monitoreo Ambiental]. Lima: Analytical Laboratory E.I.R.L.
- Andía, Y. (2000). Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: Coagulación—Floculación. Recuperado de <https://n9.cl/l7fj4>
- Apolitano, M., & Cevallos, H. (2018). Efecto de la relación agua teñido/carbón activado y tiempo en la adsorción de agua residual de la etapa de teñido en una curtiembre (Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11452>
- ArchAdmin. (2016). Almacenaje de contenedores. Recuperado 25 de octubre de 2020, de ArchContainers website: <https://n9.cl/tnp56>

- Ardila, A., Reyes, J., Arriola, E., & Hernández, J. (2012). Remoción fotocatalítica de DQO, DBO5 y COT de efluentes de la industria farmacéutica. *Revista Politécnica*, 8(15), 9-17.
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23.^a ed.). American Public Health Association.
- Barajas, C., & León, A. (2015). Determinación de la dosis óptima de Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de Coagulación-Floculación para el Tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial (Pregrado, Universidad Santo Tomás). Universidad Santo Tomás, Colombia. Recuperado de <https://n9.cl/vo9ql>
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Recuperado 25 de octubre de 2020, de Docplayer website: <https://n9.cl/pahby>
- Bedoya, J., Ardila, A., & Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquía, Colombia. 30(3), 275-283.
- Bratby, J. (2006). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment—Second Edition*. Water Intelligence Online, 5. <https://doi.org/10.2166/9781780402321>
- Carbotecnia. (2004). El carbón activado en el tratamiento de aguas residuales. Recuperado de <https://n9.cl/kxsi>
- Chambi, Z. (2018). Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación-floculación y adsorción (Pregrado, Universidad Nacional del

- Altiplano). Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8347>
- Charapaqui, J. (2019). Dosificación de coagulantes y floculantes para la remoción de sedimentos del agua en el embalse Cuchoquesera, Ayacucho (Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4158>
- Chávez, J., Bardales, K., Holguín, V., & Laiza, C. (2012). Influencia de la temperatura, tiempo de residencia y relación carbón activado/zumo de fruta en la absorbancia y retención de compuestos indeseables en el zumo filtrado de uva verde (*Vitis vinífera*). Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo, 2, 8.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales (Nelson Antequera Durán). Bolivia: Universidad Mayor de San Simón. Recuperado de <https://n9.cl/b4q8d>
- Díaz, J. (2016). El agua, recurso estratégico global, ¿riesgo u oportunidad? Revista de Pensamiento Estratégico y Seguridad CISDE, 1(1), 80-86.
- Dioses, J. (2019). Tratamiento de los efluentes de la etapa remojo en la industria de peletería (Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4135>
- Dirección General de Salud (DIGESA). (s. f.). GESTA AGUA: Grupo de Estudio Técnico Ambiental. Recuperado de <https://n9.cl/y6uf>

- Dotto, J., Fagundes-Klen, M., Veit, M., Palácio, S., & Bergamasco, R. (2019). Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 208, 656-665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>
- Espinal, G. (2017). Eficiencia del carbón activado a base de cascara de coco en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el AA. HH. 10 de octubre, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, año 2017 (Universidad Cesar Vallejo). Universidad Cesar Vallejo, Perú. Recuperado de <https://n9.cl/f21x>
- Fernández, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanza, J. (2014). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales (p. 137). España.
- Florez, G., López, M., & Mannsbach, M. (2016). Remoción de materia orgánica en aguas residuales municipales a partir de procesos de coagulación-floculación. *Revista internacional de investigación y docencia*, 1(4), 33.
- Foo, K. Y., Lee, L. K., & Hameed, B. H. (2013). Batch adsorption of semi-aerobic landfill leachate by granular activated carbon prepared by microwave heating. *Chemical Engineering Journal*, 222, 259-264. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.02.032>
- Godoy, V. (2018). Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna (Pregrado, Universidad Privada del Norte). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13840>
- Gómez, A., Rincón, S., & Klose, W. (2010). Carbón activado de cuesco de palma: Estudio de termogravimetría y estructura. kassel university press GmbH.

- Guerreiro, L. F., Rodrigues, C. S. D., Duda, R. M., de Oliveira, R. A., Boaventura, R. A. R., & Madeira, L. M. (2016). Treatment of sugarcane vinasse by combination of coagulation/flocculation and Fenton's oxidation. *Journal of Environmental Management*, 181, 237-248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.027>
- Hendricks, D. (2006). *Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical*. Boca Raton, FL.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación Quinta edición (5.ª ed.)*. México: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://n9.cl/px0c>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación Sexta Edición (6.ª ed.)*. México: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://n9.cl/7uwxe>
- iAgua, redaccion. (2014, julio 15). El mal uso del sistema de alcantarillado ocasiona hasta 176 atoros al día en Lima y Callao [Text]. Recuperado 19 de septiembre de 2020, de IAgua website: <https://n9.cl/2ki4>
- Institución Nacional de Calidad (INACAL). (2016). NTP 214.060.2016 Aguas residuales. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado.
- Irfan, M., Butt, T., Imtiaz, N., Abbas, N., Khan, R. A., & Shafique, A. (2017). The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2307-S2318. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.08.007>
- Jiménez, B. (2001). *La Contaminación Ambiental en México*. Editorial Limusa.

- Jones, D. L., Freeman, C., & Sánchez-Rodríguez, A. R. (2017). Waste Water Treatment. En B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* (Second Edition) (pp. 352-362). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00019-8>
- Larrucea, J., Marí, R., & Martín, J. (2013). *Transporte en contenedor* 2ª Edición. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Lazo, E. (2017). Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de Rio Seco, Arequipa (Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2413>
- Li, W., Hua, T., Zhou, Q., Zhang, S., & Li, F. (2010). Treatment of stabilized landfill leachate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption. *Desalination*, 264(1), 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.004>
- Loayza, G. (2017). Aplicación del tratamiento físico químico para la reducción de la contaminación de los efluentes en una empresa de bebidas carbonatadas – Huacho— 2013 (Maestría, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2579>
- Lobatón, M., & Hualpa, L. (2019). Comparación de la eficiencia en la depuración de efluentes residuales de industrias de colapez, utilizando un tratamiento convencional y un alternativo de electrocoagulación en el PIRS -2019 (Pregrado, Universidad

- Católica de Santa María). Universidad Católica de Santa María, Perú. Recuperado de <https://tesis.ucsm.edu.pe:80/repositorio/handle/UCSM/9566>
- Long, Y., Xu, J., Shen, D., Du, Y., & Feng, H. (2017). Effective removal of contaminants in landfill leachate membrane concentrates by coagulation. *Chemosphere*, 167, 512-519. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.016>
- Medlog Perú. (2019). Lavado de Contenedores Vacíos.
- Meng, X., Wu, J., Kang, J., Gao, J., Liu, R., Gao, Y., ... Hu, Y. (2018). Comparison of the reduction of chemical oxygen demand in wastewater from mineral processing using the coagulation–flocculation, adsorption and Fenton processes. *Minerals Engineering*, 128, 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.09.009>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2021). Estándares de Calidad Ambiental—Preguntas Frecuentes. Recuperado de <https://n9.cl/sv7s5>
- Mohammad-pajoo, E., Turcios, A. E., Cuff, G., Weichgrebe, D., Rosenwinkel, K.-H., Vedenyapina, M. D., & Sharifullina, L. R. (2018). Removal of inert COD and trace metals from stabilized landfill leachate by granular activated carbon (GAC) adsorption. *Journal of Environmental Management*, 228, 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.020>
- Moretto, B., Gentili, J., Cano, M. de los Á. O., & Campo, A. (2019). El agua: Recurso y peligro. Análisis normativo-institucional para la vertiente norte del Sistema de Ventania (Argentina). *Geográfica digital*, 16(31), 29-45. <https://doi.org/10.30972/geo.16313598>
- Morrissey, A. (2020). Treatment and Recycling of Domestic and Industrial Wastewater. En S. Hashmi & I. A. Choudhury (Eds.), *Encyclopedia of Renewable and Sustainable*

Materials (pp. 908-918). Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11082-3>

Muñoz, A. (2012). Tipos de investigación. Academia edu, 6(10).

Muruganathan, M., Raju, G. B., & Prabhakar, S. (2004). Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 109(1), 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2003.12.009>

Nafees, M., & Waseem, A. (2014). Organoclays as Sorbent Material for Phenolic Compounds: A Review. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 42(11), 1500-1508. <https://doi.org/10.1002/clen.201300312>

Noyola, A., Morgan, J., & Patricia, L. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.

Oloibiri, V., Ufomba, I., Chys, M., Audenaert, W. T. M., Demeestere, K., & Van Hulle, S. W. H. (2015). A comparative study on the efficiency of ozonation and coagulation–flocculation as pretreatment to activated carbon adsorption of biologically stabilized landfill leachate. *Waste Management*, 43, 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.014>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014a). El OEFA advierte problemática ambiental por déficit de tratamiento de las aguas residuales a nivel nacional. Recuperado 4 de octubre de 2020, de OEFA website: <https://www.oefa.gob.pe/el-oefa-advierte-problematika-ambiental-por-deficit-de-tratamiento-de-las-aguas-residuales-a-nivel-nacional/ocac07/>

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014b). Fiscalización Ambiental de Aguas Residuales. Recuperado de <https://n9.cl/119w>
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: El recurso no explotado. Recuperado de <https://n9.cl/clkj>
- Pariente, M. I., Segura, Y., Molina, R., & Martínez, F. (2020). Chapter 2—Wastewater treatment as a process and a resource. En J. A. Olivares, D. Puyol, J. A. Melero, & J. Dufour (Eds.), *Wastewater Treatment Residues as Resources for Biorefinery Products and Biofuels* (pp. 19-45). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816204-0.00002-3>
- Perez, F., & Camacho, L. (2011). Tecnología para el tratamiento de aguas servidas (Pregrado, Universidad Veracruzana). Universidad Veracruzana, México. Recuperado de <https://n9.cl/1ezg>
- Pérez, F., & Urrea, M. (2011). Abastecimiento de Aguas. Tema 6: Coagulación y floculación. Recuperado de <https://n9.cl/3ips>
- Pizzi, N. (2005). *Water Treatment Operator Training Handbook*. Denver, CO.
- Poquioma, A., Purizaga, E., & Rodríguez, N. (2016). Mejora del proceso de despacho para contenedores refrigerados vacíos en LICSA (Maestría, Universidad del Pacífico). Universidad del Pacífico, Perú. Recuperado de <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1333122>
- Ramírez, R., & Mendoza, L. (2005). Economía del agua en Baja California: Reúso de aguas residuales tratadas bajo mecanismos de mercado. UABC.

- Rana, S., & Suresh, S. (2017). Comparison of different Coagulants for Reduction of COD from Textile industry wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 4(2, Part A), 567-574. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.058>
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Recuperado de <https://n9.cl/bemhy>
- Rigola, M. (1989). TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES: AGUAS DE PROCESO Y RESIDUALES. Marcombo.
- Rodríguez, C., & Zapata, C. (2015). Influencia del ph, concentración de coagulante a base de aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres. (Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3270>
- Romero, J. (2006). Purificación del agua. 2da Edición (2nd edition). Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería / Distribuido por Lemoine Editores.
- Sette, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Reverte.
- Soluciones Químicas Ambientales S.A.C. (2020). Demanda Química de Oxígeno.
- Torres, J. (2020). Entrevista sobre el proceso de Lavado de Contenedores Refrigerados [Presencial].
- Trebouet, D., Schlumpf, J. P., Jaouen, P., & Quemeneur, F. (2001). Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical–nanofiltration processes. *Water Research*, 35(12), 2935-2942. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00005-7)

Universidad de Sevilla. (2020). Manual del carbón activado. Recuperado de <https://n9.cl/q6xp>

Ures, P., Suarez, J., & Jacome, A. (2015). Adsorción en carbón activado.

Velásquez, D. (2017). Aplicación del método de electrocoagulación al efluente de la Planta Piloto de Leche «La Molina» (Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3106>

Wang, L. K., Hung, Y.-T., & Shammas, N. K. (Eds.). (2005). Physicochemical Treatment Processes: Volume 3. Humana Press. <https://doi.org/10.1385/159259820x>

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Matriz de Consistencia.

Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Unidad de medida
¿El sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio reducirá los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.?	Evaluar el sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la reducción de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.	El sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio reducirá los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.	Aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados	Parámetros físicos	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L
					Turbidez	UNT
				Parámetros químicos	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L
					Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L
					Aceites y Grasas (A y G)	mg/L
				Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Unidad de medida

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles serán los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento? • ¿Cuál será la dosis óptima de cada coagulante para el mayor porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados? • ¿Cuánto será la reducción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados después del tratamiento por coagulación-floculación y adsorción para el cumplimiento de los valores máximos admisibles? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento. • Evaluar la dosis óptima de cada coagulante para el mayor porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados. • Cuantificar la reducción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados después del tratamiento por coagulación-floculación y adsorción para el cumplimiento de los valores máximos admisibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados antes del tratamiento permitirán conocer el grado de contaminación. • El mayor porcentaje de reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez en las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados será influenciado por el tipo y dosis óptima de cada coagulante. • Los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados después del tratamiento por coagulación-floculación y adsorción cumplirán con los valores máximos admisibles. 	<p>Sistema de coagulación-floculación y adsorción</p>	<p>Proceso de coagulación-floculación</p>	<p>Tipo de coagulante</p>	<p>Orgánico e inorgánico</p>
		<p>Dosis de coagulante</p>			<p>ml/l</p>	
		<p>Dosis de floculante</p>			<p>ml/l</p>	
		<p>Cantidad de carbón activado</p>			<p>g</p>	
		<p>Proceso de adsorción</p>	<p>Tiempo de contacto</p>	<p>minutos</p>		

Tipo y Diseño de Investigación	Población y Muestra	Instrumentos	Estadística
<p>Tipo: El presente estudio es de tipo aplicada, que consiste en la aplicación de los descubrimientos y avances de la investigación básica para resolver un problema (Muñoz, 2012). Tiene un enfoque cuantitativo porque se requirió de una serie de pasos y se recolectaron datos numéricos para probar las hipótesis planteadas por la aplicación y análisis de pruebas estadísticas, para medir el porcentaje de remoción de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales, y el impacto del tratamiento en la variable dependiente (aguas residuales) después de los resultados del análisis (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). La investigación tiene un alcance explicativo, ya que busca dar a conocer la razón por la que ocurrió el evento y en qué condiciones se manifiesta, a través de este proceso se busca dar a conocer las condiciones óptimas para el tratamiento de aguas residuales (Hernández et al., 2010).</p>	<p>Población: La población son todas las aguas residuales provenientes del lavado de contenedores refrigerados de M.P. S.A. sede Reefer Center, cuyo caudal equivale a 1m³/h lo cual equivale a 0.28 L/s (Torres, 2020).</p> <p>Muestra: La determinación de la muestra se realizó en base a un muestreo compuesto, el cual tiene como objetivo establecer el volumen de las muestras individuales considerando los rangos de operación del proceso generador de descarga de aguas residuales de la empresa, además de proporcionar una mayor representatividad del muestreo (Institución Nacional de Calidad (INACAL), 2016). De acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 214.060 2016 “Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado” (INACAL, 2016), se determinó cuatro muestras puntuales cada 2 horas durante el periodo completo de operación del proceso, debido a que el proceso de lavado de contenedores refrigerados de la empresa opera 8 horas diarias. A partir de ello, para determinar el volumen de la muestra puntual a colectar se aplicó la siguiente fórmula:</p>	<p>Los instrumentos empleados fueron:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ficha de identificación del punto de muestreo: El instrumento fue utilizado para recopilar información sobre el punto de muestreo con el fin de obtener coordenadas, dirección, evidencia fotográfica al momento del muestreo y una descripción concisa de las características del mismo (ANEXO n.º 6). • Cadena de Custodia e Informe de ensayo - Caracterización y Postratamiento: En las cadenas de custodias se registraron datos como la fecha y hora de la toma de muestra, codificación, matriz y tipo de matriz, coordenadas del punto de muestreo, los parámetros a analizar (demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y turbidez), tipo de envase utilizado para la muestra (vidrio o plástico), los reactivos que se usaron para preservar las muestras y los valores de las concentraciones de los 	<p>Se empleó un diseño factorial completo general a través del programa estadístico Minitab 18 para las variables independientes tipo de coagulante y dosis de coagulante. No se utilizó la variable independiente “dosis de floculante” debido a que el valor fue constante para todos los tratamientos. Cada tratamiento se realizó por triplicado teniendo 9 tipos de tratamientos y 27 corridas en total, siendo las variables respuesta del diseño fue el porcentaje de remoción de DQO (%) y turbidez (%). El análisis y procesamiento de los datos se efectuó mediante el programa estadístico Minitab Statistical Software 18, El análisis y procesamiento de los datos se efectuó mediante el programa estadístico Minitab Statistical Software 18, para el análisis de los resultados</p>

Diseño:

El diseño de la investigación es experimental puro, porque se utilizó prepruebas, pospruebas y un grupo control a fin de analizar cuán adecuado fue el estímulo y cotejar los cambios después del tratamiento experimental. Además, el autor es responsable de la manipulación intencionada de al menos una variable (independiente) y de la medición de la influencia en otra variable (dependiente). Por tanto, en esta prueba se manipuló las variables independientes: el tipo de coagulante, la dosis de coagulante y tiempo de contacto con carbón activado. Asimismo, existe el grupo de control al cual no se aplicó tratamiento, con el objetivo de determinar si el tratamiento marca diferencia entre los resultados del grupo control y el grupo experimental (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Es por ello que en el proceso de coagulación – floculación se propuso nueve grupos de tratamiento y un grupo de control, mientras que en el proceso de Adsorción solo 2 grupos de tratamiento.

$$\text{Alícuota de volumen total} = \frac{\text{Caudal} \times \text{Volumen total de la muestra compuesta}}{\text{Caudal} \times \text{N}^\circ \text{ de mediciones}}$$

Después de la aplicación de la fórmula, se determinó la toma de 4 muestras puntuales de 6.5 L cada 2 horas hasta la formación del volumen de la muestra compuesta de 26 L.

Tipo de muestreo:

El muestreo fue de tipo no probabilístico y se eligió el número de muestras de acuerdo al criterio y requerimiento del investigador. Según (Hernández et al., 2014) estas también son conocidas como muestras dirigidas, debido a que se guían por las características de la investigación, no buscan la representatividad de la población, sino, controlar las dimensiones específicas del tema a investigar, para que los datos puedan ser recolectados y analizados. En consecuencia, la toma de muestra para realizar el experimento se realizó en una única fecha, tomando en consideración el día de mayor ingreso de lavado de contenedores y, por lo tanto, mayor generación de aguas residuales.

parámetros como pH y temperatura que fueron medidos in situ por el multiparámetro modelo HQ11D marca Hach (a excepción de la muestra postratamiento) a fin de tener un seguimiento del muestreo (ANEXO n.º 7). En los informes de ensayo, se evidenciaron los datos del autor, dirección del lugar de muestreo, procedencia, código del punto de muestreo, fecha y hora de muestreo, métodos utilizados por el laboratorio para el análisis de los parámetros evaluados y los resultados obtenidos (ANEXO n.º 8).

obtenidos en el proceso de C-F brindando el análisis de varianza (ANOVA), gráfica de probabilidad normal, gráfica de varianza constante, gráfica de prueba de independencia, diagrama de Pareto, gráfica de efectos principales, gráfica de interacción y gráfica de contorno. Asimismo, se aplicó la prueba T student para el análisis de los resultados del proceso de Adsorción. Se realizó la prueba de hipótesis con nivel de confianza del 95 % (nivel de significancia de 0.05). Esto a fin de que si el nivel de significancia fue menor que 0.05, entonces se rechazó la hipótesis nula (H0) y se aceptó la alterna (H1); por lo tanto, existió diferencia entre grupos. Caso contrario, si el nivel de significancia fue mayor a 0.05, se aceptó la hipótesis nula y se rechazó la alterna; lo que significa que no hubo diferencia entre los grupos.

ANEXO n.º 2. Matriz de operacionalización de variable.

Variable	Definición Concepto	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Índice	
Aguas residuales del lavado de contenedores refrigerados/ Variable Dependiente (X)	Las aguas residuales son aguas cuyas propiedades fueron transformadas por la actividad humana y por ello es necesario un tratamiento antes de verterlas a un cuerpo natural de agua, descargadas al sistema de alcantarillado o ser reutilizadas (OEFA, 2014b).	Las aguas residuales del lavado de contenedores presentan niveles altos de materia orgánica y presentar niveles ácidos, lo cual es tóxico y pueden causar contaminación si no se tratan previamente antes de su descarga a un cuerpo de agua o alcantarillado.	Parámetros físicos	1. Sólidos Suspendedos Totales (mg/l)	1,2	Rango de porcentaje de remoción: Muy Bajo (<20%) Bajo (20%-40%) Medio (40-60%) Alto (60%-80%) Muy Alto (80%-100%)	
				2. Turbidez (UNT)			
			Parámetros químicos	3. Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	3,4,5		Condición de nivel de pH: Cumple ($6 \geq x \leq 9$) No cumple ($0 \geq x < 6$ y $9 > x \leq 14$)
				4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)			
				5. Aceites y Grasas (mg/l)			
				6. Potencial de Hidrógeno (Unidad de pH)			
Sistema de coagulación-floculación y adsorción/Variable Independiente (Y)	La coagulación es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales debido a que se neutralizan las fuerzas que los mantienen separados a través de la adición de reactivo químico (coagulante) y posterior agitación, dando como resultado la formación de partículas de mayor tamaño (Agreda & Domínguez, 2018). Seguidamente, la floculación consta en la agitación de la masa coagulada para agrandar y aglomerar los floculos mediante la agitación lenta se formen otras de tamaño y peso mayor para que puedan sedimentar fácilmente (Andía, 2000). La adsorción es un proceso mediante el cual una sustancia se transfiere de la fase líquida a la superficie de un sólido (Meng et al., 2018).	La coagulación-floculación es un proceso que requiere de la aglomeración de partículas suspendidas mediante el uso de aditivos, agitación rápida y lenta a fin de facilitar la sedimentación de las partículas, para posteriormente adsorber los contaminantes que no fueron removidos en el proceso anterior con carbón activado.	Proceso de coagulación-floculación	7. Tipo de coagulante (orgánico e inorgánico)	7, 8, 9	Condición de eficiencia: Eficiente No eficiente	
				8. Dosis de coagulante (ml/l)			
			9. Dosis de floculante (ml/l)				
			Proceso de adsorción	10. Dosis de carbón activado (g)	10		

Generalmente, el carbón activado es útil para adsorber compuestos orgánicos disueltos (Romero, 2006).

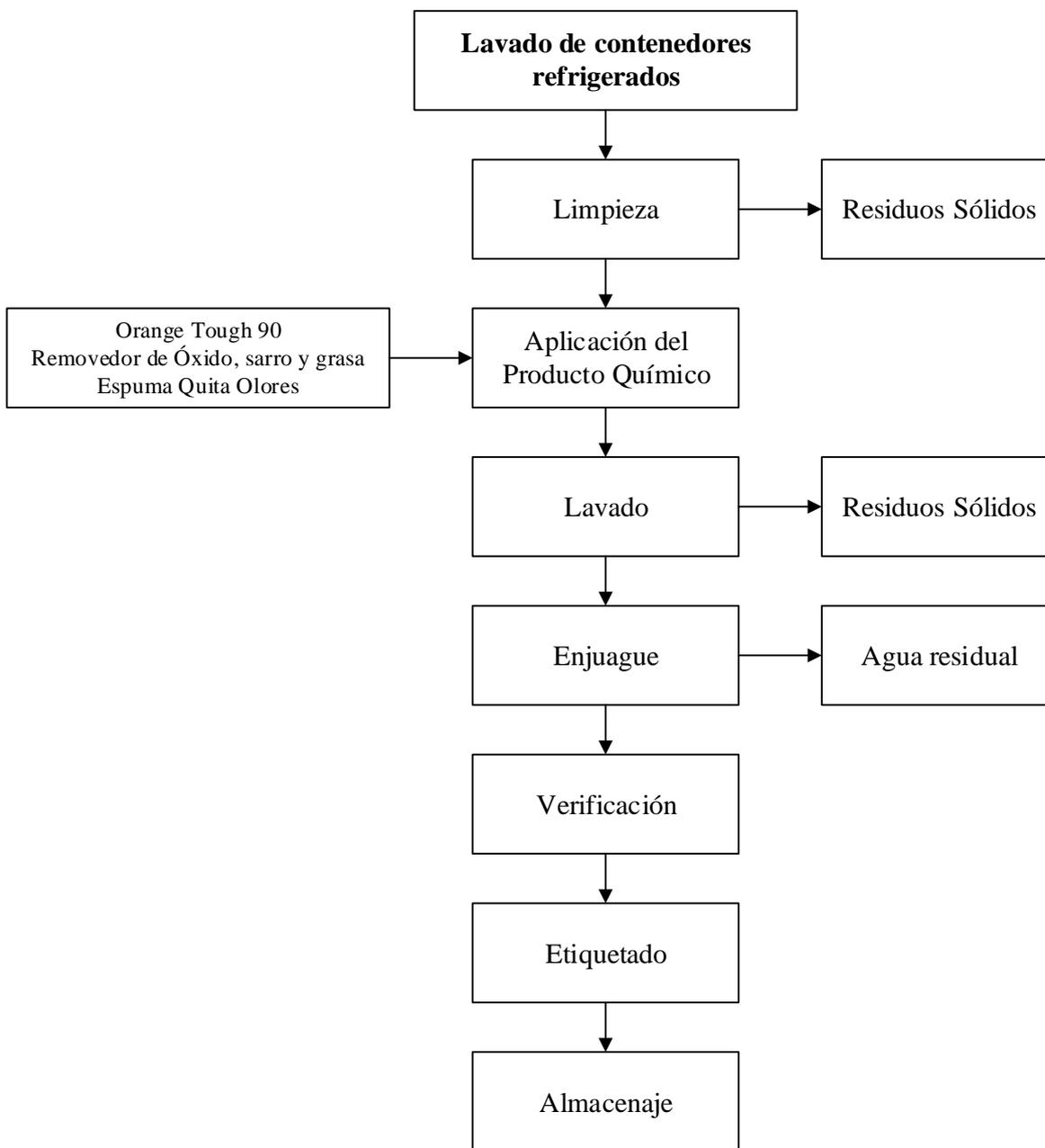
11. Tiempo de contacto (minutos) 11

ANEXO n.º 3. Enjuague de contenedores refrigerados.



Fuente: Propia.

ANEXO n.º 4. Diagrama de Lavado de Contenedores Refrigerados.



Fuente: Elaboración propia basado en datos de Medlog Perú (2019).

ANEXO n.º 5. Plano de Ubicación de Área de estudio M.P.S.A. - Reefer Center.



ANEXO n.º 6. Ficha de ubicación de Punto de muestreo.

 FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	
Código de identificación:	Agua Residual -AR
Origen de muestra:	Agua Residual del lavado de contenedores refrigerados
Motivo de muestreo:	Caracterización
Coordenadas:	WGS 84
Sistema de coordenadas:	Proyección UTM <input checked="" type="checkbox"/> Geográficas <input type="checkbox"/>
Norte/Latitud (X):	8667149
Este/Longitud (Y):	269649
Dirección:	Av. Argentina N° 2495
Accesibilidad:	Av. Argentina
Distrito:	Callao
Provincia:	Callao
Departamento:	Provincia Constitucional del Callao
Evidencia fotográfica del punto de muestreo:	
	
Descripción	
<p>Se llevó a cabo el muestreo de las aguas residuales provenientes del lavado de contenedores refrigerados en dos fechas, las cuales son: 03 y 06 de febrero del 2021; esto con el fin de determinar la variación de los valores de los parámetros fisicoquímicos que caracterizan al agua residual. En todas las fechas se observó que las aguas presentan alta carga de materia orgánica y turbiedad, así como hay un caudal constante lo que facilitó la toma de muestra. Las muestras tomadas fueron puntuales de acuerdo a la Norma Técnica Peruana N° 214.060.2016.</p>	
Llenado por:	Ana Paula Revolledo Chaparro
DNI:	74072365
Fecha:	06/02/2021

ANEXO n.º 7. Cadenas de custodia.

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										L: F-0PE-142 R: 01 LV: 2020-Feb-13																																																																																																																																																																																																
Datos del cliente Razón Social: <u>Ana Paula Revuelto Chaparro</u> Persona de contacto: <u>Ana Paula Revuelto</u> Correo / Teléfono: <u>anapaulareh@gmail.com / 991149341</u> Nombre del proyecto: <u>Sistema de Coagulación-Floculación y Adsorción a nivel de Laboratorio</u>												Orden de servicio: <u>21-422.V2</u> Pág. <u>a</u> de <u>01</u> Plan de Monitoreo: <u>21-164</u> Informe de ensayo: <u>E-21-1021 / CC-21-1007</u> Procedencia o lugar de muestreo: <u>Av. Argentina 2495 - Callao</u>																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</th> <th colspan="6">PARAMETROS DE ENSAYO</th> <th colspan="4">PARAMETRO IN SITU</th> <th rowspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <th>Item</th> <th>Punto de muestreo / Estación</th> <th>Código de laboratorio</th> <th>Muestreo</th> <th>Clasificación</th> <th>Ubicación</th> <th>N° Frascos</th> <th colspan="4">MTRA</th> <th>T° Mtra</th> <th>pH</th> <th>CE</th> <th>OD</th> <th>Cloro Libre</th> <th>Cloro Total</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>Grupo</th> <th>Sub-grupo</th> <th>Coordenadas (UTM)</th> <th>V</th> <th>P</th> <th>DB5</th> <th>DBO</th> <th>SST</th> <th>AyG</th> <th>(°C)</th> <th>(Unidad de pH)</th> <th>(us/cm)</th> <th>(mg/L)</th> <th>(mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>AR</td> <td>H-21 03597</td> <td>F03/02/21 H: 12:00</td> <td>AR Industrial</td> <td>N: 8667149 E: 269249</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>/</td> <td>/</td> <td>/</td> <td>/</td> <td>29.3</td> <td>4.41</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Efluyente lavado contenedores de refrigerados</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>AR (DC)</td> <td>3598</td> <td>F03/02/21 H: 12:00</td> <td>AR Industrial</td> <td>N: 8667149 E: 269249</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>AR (BU)</td> <td>3599</td> <td>F03/02/21 H: 11:00</td> <td>- Agua deshorizada</td> <td>N: E:</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>AR (BC)</td> <td>3600</td> <td>F03/02/21 H: 11:00</td> <td>- Agua deshorizada</td> <td>N: E:</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td>F:</td> <td></td> <td>N:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td>H:</td> <td></td> <td>E:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td>F:</td> <td></td> <td>N:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td>H:</td> <td></td> <td>E:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				PARAMETROS DE ENSAYO						PARAMETRO IN SITU				OBSERVACIONES	Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	MTRA				T° Mtra	pH	CE	OD	Cloro Libre	Cloro Total				Grupo	Sub-grupo	Coordenadas (UTM)	V	P	DB5	DBO	SST	AyG	(°C)	(Unidad de pH)	(us/cm)	(mg/L)	(mg/L)	1	AR	H-21 03597	F03/02/21 H: 12:00	AR Industrial	N: 8667149 E: 269249	1	3	/	/	/	/	29.3	4.41	-	-	-	Efluyente lavado contenedores de refrigerados	2	AR (DC)	3598	F03/02/21 H: 12:00	AR Industrial	N: 8667149 E: 269249	-	1	-	-	-	-							3	AR (BU)	3599	F03/02/21 H: 11:00	- Agua deshorizada	N: E:	-	1	-	-	-	-							4	AR (BC)	3600	F03/02/21 H: 11:00	- Agua deshorizada	N: E:	-	1	-	-	-	-							5			F:		N:													6			H:		E:													7			F:		N:													8			H:		E:												
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				PARAMETROS DE ENSAYO						PARAMETRO IN SITU				OBSERVACIONES																																																																																																																																																																																														
Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	MTRA				T° Mtra	pH	CE		OD	Cloro Libre	Cloro Total																																																																																																																																																																																											
			Grupo	Sub-grupo	Coordenadas (UTM)	V	P	DB5	DBO	SST	AyG	(°C)	(Unidad de pH)	(us/cm)	(mg/L)	(mg/L)																																																																																																																																																																																												
1	AR	H-21 03597	F03/02/21 H: 12:00	AR Industrial	N: 8667149 E: 269249	1	3	/	/	/	/	29.3	4.41	-	-	-	Efluyente lavado contenedores de refrigerados																																																																																																																																																																																											
2	AR (DC)	3598	F03/02/21 H: 12:00	AR Industrial	N: 8667149 E: 269249	-	1	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																	
3	AR (BU)	3599	F03/02/21 H: 11:00	- Agua deshorizada	N: E:	-	1	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																	
4	AR (BC)	3600	F03/02/21 H: 11:00	- Agua deshorizada	N: E:	-	1	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																	
5			F:		N:																																																																																																																																																																																																							
6			H:		E:																																																																																																																																																																																																							
7			F:		N:																																																																																																																																																																																																							
8			H:		E:																																																																																																																																																																																																							
Descripción de equipos utilizados: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Código interno del equipo</th> <th>Nombre de equipo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E1-0PE-42</td> <td>Potenciometro</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>E1-0PE-102B</td> <td>GRS</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo	1	E1-0PE-42	Potenciometro	2	E1-0PE-102B	GRS	3			4			Leyenda F: Fecha N: Norte V: Vidrio T° Mtra: Temperatura de Muestra CE: Conductividad Eléctrica H: Hora E: Este P: Plástico T° Amb: Temperatura ambiente OD: Oxígeno Disuelto				Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042 <table border="1"> <thead> <tr> <th>GRUPO</th> <th>SUB GRUPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AN: Aguas Naturales</td> <td>SUBTERRANEA (Mineral - Termal)</td> </tr> <tr> <td>AR: Aguas Residuales</td> <td>DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL</td> </tr> <tr> <td>AH: Agua para Uso y Consumo Humano</td> <td>PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Posible: Vaso, Emvasado)</td> </tr> <tr> <td>AS: Aguas Salinas</td> <td>MIN: SALINIDAD - SALINIDAD AGUA INYECCION Y REINYECCION</td> </tr> <tr> <td>AP: Aguas de Proceso</td> <td>CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LUBRICACION AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION</td> </tr> </tbody> </table>				GRUPO	SUB GRUPO	AN: Aguas Naturales	SUBTERRANEA (Mineral - Termal)	AR: Aguas Residuales	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL	AH: Agua para Uso y Consumo Humano	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Posible: Vaso, Emvasado)	AS: Aguas Salinas	MIN: SALINIDAD - SALINIDAD AGUA INYECCION Y REINYECCION	AP: Aguas de Proceso	CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LUBRICACION AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION																																																																																																																																																																						
Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo																																																																																																																																																																																																										
1	E1-0PE-42	Potenciometro																																																																																																																																																																																																										
2	E1-0PE-102B	GRS																																																																																																																																																																																																										
3																																																																																																																																																																																																												
4																																																																																																																																																																																																												
GRUPO	SUB GRUPO																																																																																																																																																																																																											
AN: Aguas Naturales	SUBTERRANEA (Mineral - Termal)																																																																																																																																																																																																											
AR: Aguas Residuales	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL																																																																																																																																																																																																											
AH: Agua para Uso y Consumo Humano	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Posible: Vaso, Emvasado)																																																																																																																																																																																																											
AS: Aguas Salinas	MIN: SALINIDAD - SALINIDAD AGUA INYECCION Y REINYECCION																																																																																																																																																																																																											
AP: Aguas de Proceso	CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LUBRICACION AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION																																																																																																																																																																																																											
Observaciones / Comentarios 				Muestreado por: <u>Samir Escobedo</u> Fecha: <u>08/01/21 12:50</u> Firma: <u>[Firma]</u>				Cliente: <u>Ana Paula Revuelto</u> Fecha: <u>03-02-2021 12:54</u> Firma: <u>[Firma]</u>				Recepción de muestra: 03 FEB 2021 15:00 CALLAO																																																																																																																																																																																																

Sede principal: Prosección Zarmita Mz. D2, Lt. 3, Bellavista, Callao / Sede Guayma Chacra: Av. Guardia Chacra N° 1877, Bellavista, Callao / Sede Arequipa: Urbanización Tahuaycan Mz. C, Lt. 27, dentro de Sachaca, Arequipa / Sede Piura: Urbanización Los condes Mz. N, Lt. 20 (Española de Universidad UPAD), distrito de Piura, Piura.
 Web: www.alab.com.pe E-mail: grupo.comercial@alab.com.pe - RUC: 2061095191 - T: (01)4531389 - (01)130638 Cel.: 94059858 - 932646458

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB.

INFORMES

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA															I.: F-0PE-14.2 R.: 01 I.V.: 2020-Feb-13																
Datos del cliente Razón Social: <u>ANA PAULA REVOLLEDO CHAPARRO</u> Persona de contacto: <u>Ana Paula Revolledo</u> Correo / Teléfono: Nombre del proyecto: <u>Sistema de Coagulación - Floculación y Adsorción en el Laboratorio</u>																	Orden de servicio: <u>473-21-VO</u> Pág. <u>01</u> de <u>01</u> Plan de Monitoreo: <u>PH-21-0173</u> Informe de ensayo: <u>16-21-1108 / cc-21-1091</u> Procedencia o lugar de muestreo: <u>Av. Argentina 2495 - Callao</u>																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Preservante</td> <td style="width: 10%;">H₂SO₄</td> <td style="width: 10%;">-</td> <td style="width: 10%;">-</td> <td style="width: 10%;">H₂SO₄</td> <td style="width: 10%;">-</td> </tr> </table>																	Preservante	H ₂ SO ₄	-	-	H ₂ SO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Preservante	H ₂ SO ₄	-	-	H ₂ SO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																	
Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			PARAMETROS DE ENSAYO										PARAMETRO IN SITU			OBSERVACIONES														
			Muestreo	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	Ay.B.	S.S.T	DBO ₅	DQO	Turbidez	T° Mtra (°C)	pH (Unidad de pH)	CE (us/cm)	Cloro Libre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)																	
1	AR	03951	F: 06-02-21 H: 8:20	AR INDUSTRIAL	N: 8667149 E: 0269649	1	4	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	23.7	340	-	-	-											
2	D.C	3952	F: 06-02-21 H: 8:20	AR INDUSTRIAL	N: 8667149 E: 0269649		1	✓																									
3	B.C	3953	F: H:		N: E:		1	✓																									
4	B.V	3954	F: H:		N: E:		1	✓																									
5	-	-	F: H:		N: E:		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
6			F: H:		N: E:																												
7			F: H:		N: E:																												
8			F: H:		N: E:																												

Descripción de equipos utilizados:		Leyenda				Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042				
Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo		F: Fecha	N: Norte	V: Vidrio	T° Mtra: Temperatura de Muestra	CE: Conductividad Eléctrica	GRUPO	SUB GRUPO
1	EA-06-179	Potenciometro		H: Hora	E: Este	P: Plástico	T° Amb: Temperatura ambiente	OD: Oxígeno Disuelto	AN: Aguas Naturales	SUBTERRANEA (Manantial - Termal)
2								RECEPCIÓN DE MUESTRAS	AR: Aguas Residuales	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL
3								06 FEB 2021	AH: Agua para Uso y Consumo Humano	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL
4								09:25	AS: Agua Salina	RESERVA (Piscina, Marea, Embudo)
									AP: Aguas de Proceso	MAR - SALOBRES - SALMUEBA
										AGUA INYECCION Y REINYECCION
										CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS
										ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LIXIVIACION
										AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION

Muestreado por: <u>Joseph Espinoza</u>		Cliente: <u>Ana Paula Revolledo</u>	
Fecha: <u>06-02-2021</u>		Fecha: <u>06-02-2021</u>	
Firma: <u>[Firma]</u>		Firma: <u>[Firma]</u>	

Observaciones / Comentarios

ANEXO n.º 8. Informes de ensayo.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1021

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: ANA PAULA REVOLLEDO CHAPARRO
2.-DIRECCIÓN	: AV. ARGENTINA N° 2495 – CALLAO
3.-PROYECTO	: SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE CONTENEDORES REFRIGERADOS DEL ALMACÉN M.P.S.A.R.C.
4.-PROCEDENCIA	: MEDLOG PERÚ S.A. – SEDE REEFER CENTER
5.-SOLICITANTE	: ANA PAULA REVOLLEDO CHAPARRO
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-21-0422
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-02-17

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-02-03
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-02-03 al 2021-02-17



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1021

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Aceites y Grasas ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017 <input type="checkbox"/>	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
pH ⁽¹⁾ ^(c)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspendedos Totales ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Temperatura ⁽¹⁾ ^(c)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

^(c) Ensayo realizado en campo (medido in situ)

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1021

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-03597
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AR
COORDENADAS:				E:0269649
UTM WGS 84:				N:8667149
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO :				03-02-2021 12:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceltes y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	77,80
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	2 299,5
Demanda Química de Oxígeno (*)	COD as mg O2/L	2	5	7 161
pH (*)	Unidad de pH	NA	0,01	4,41
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	15 144
Temperatura (*)	°C	NA	0,1	29,3

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

"FIN DE DOCUMENTO"

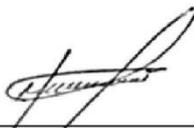
INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1108

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: ANAPaula REVOLLEDO CHAPARRO
2.-DIRECCIÓN	: AV. ARGENTINA N° 2495 – CALLAO
3.-PROYECTO	: SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE CONTENEDORES REFRIGERADOS DEL ALMACÉN M.P.S.A.R.C.
4.-PROCEDENCIA	: MEDLOG PERÚ S.A. – SEDE REEFER CENTER
5.-SOLICITANTE	: ANA PAULA REVOLLEDO CHAPARRO
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-21-0473
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREADO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-02-17

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-02-06
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-02-06 al 2021-02-17


Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1108

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Ácidos y Grasas ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
pH ^(*) ^(c)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspendedos Totales ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Temperatura ^(*) ^(c)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods
Turbidez ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Turbidity. Nephelometric Method.

*SMEWW[®] : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

^(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

^(c) Ensayo realizado en campo (medido in situ)

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1108

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-03951
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AR
COORDENADAS:				E:0269649
UTM WGS 84:				N:8667149
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO :				06-02-2021 08:20
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceltes y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	113,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	1 705,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	COD as mg O2/L	2	5	6 724
pH (*)	Unidad de pH	NA	0,01	3,40
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	16 267
Temperatura (*)	°C	NA	0,1	23,7
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	550,00

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

"FIN DE DOCUMENTO"

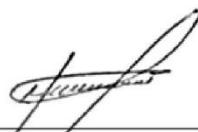
INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1178

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: ANA PAULA REVOLLEDO CHAPARRO
2.-DIRECCIÓN	: AV.ARGENTINA N° 2495 - CALLAO
3.-PROYECTO	: SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE CONTENEDORES REFRIGERADOS DEL ALMACÉN M.P.S.A.R.C.
4.-PROCEDENCIA	: MEDLOG PERÚ S.A. – SEDE REEFER CENTER
5.-SOLICITANTE	: ANA PAULA REVOLLEDO CHAPARRO
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-21-0474
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-02-17

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-02-08
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-02-08 al 2021-02-17



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1178

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Aceites y Grasas ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
pH ^(**)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspendedos Totales ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Turbidez ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Turbidity. Nephelometric Method.

*SMEWW": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1178

IV. RESULTADOS

ITEM		1		
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-21-04141		
CÓDIGO DEL CLIENTE:		T2-A		
COORDENADAS:		NO APLICA		
UTM WGS 84:		NO APLICA		
PRODUCTO:		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:		Residual Industrial		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA		
FECHA y HORA DE MUESTREO :		08-02-2021 12:00		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	<0,48
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	37,8
Demanda Química de Oxígeno (*)	COD as mg O2/L	2	5	78
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	7,50
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	25
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	0,55

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

“SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE CONTENEDORES REFRIGERADOS DEL ALMACÉN M.P.S.A.R.C.”

ANEXO n.º 9. Certificado de acreditación de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación al:

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Laboratorio de Ensayo

Prolongación Zaramilla, Mz D2 Lt 3, Asociación Daniel Alcides Carrión, distrito de Bellavista, provincia constitucional del Callao, departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 26 de julio de 2019

Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2023

ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 0547-2019/INACAL-DA
Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación
N°025-16/INACAL-DA
Registro N° : LE-096

Fecha de emisión: 24 de julio de 2019

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 02

DE-LAB-06
DNC-Fuera del alcance de actualización

ANEXO n.º 10. Resultados de las aguas residuales del lavado de contenedores luego del tratamiento por Coagulación-Floculación.

Coagulante	Tratamiento	Código	Dosis se coagulante (ml/L)	Dosis de floculante CH-2040 (ml/L)	DQO (mg/L)	% Remoción DQO	Turbidez (UNT)	%Remoción Turbidez
Coagulante Orgánico (CO)	T1	T1-CO-R1	1	3	2534	63.50%	3.82	99.31%
		T1-CO-R2	1	3	2341	66.28%	5.56	98.99%
		T1-CO-R3	1	3	2278.8	67.18%	5.44	99.01%
	T2	T2-CO-R1	2	3	1953	71.87%	6.52	98.81%
		T2-CO-R2	2	3	1972	71.60%	4.83	99.12%
		T2-CO-R3	2	3	1943.6	72.00%	5.28	99.04%
	T3	T3-CO-R1	3	3	1511.7	78.23%	5.41	99.02%
		T3-CO-R2	3	3	1650	76.23%	5.76	98.95%
		T3-CO-R3	3	3	1541	77.80%	5.19	99.06%
Cloruro Férrico (CF)	T1	T1-CF-R1	1	3	1131.4	83.70%	2.44	99.56%
		T1-CF-R2	1	3	1089.5	84.31%	2.54	99.54%
		T1-CF-R3	1	3	1121.5	83.85%	2.52	99.54%
	T2	T2-CF-R1	2	3	1035.1	85.09%	5.48	99.00%
		T2-CF-R2	2	3	1001.3	85.58%	4.63	99.16%
		T2-CF-R3	2	3	1110.8	84.00%	3.91	99.29%
	T3	T3-CF-R1	3	3	919.1	86.76%	2.73	99.50%
		T3-CF-R2	3	3	845.1	87.83%	2.53	99.54%
		T3-CF-R3	3	3	881.2	87.31%	1.64	99.70%
Policloruro de aluminio (PA)	T1	T1-PA-R1	1	3	1931.7	72.18%	3.24	99.41%
		T1-PA-R2	1	3	1951.2	71.89%	2.66	99.52%
		T1-PA-R3	1	3	1891.3	72.76%	2.08	99.62%
	T2	T2-PA-R1	2	3	1747.1	74.83%	2.05	99.63%
		T2-PA-R2	2	3	1651.3	76.21%	3.1	99.44%
		T2-PA-R3	2	3	1701.7	75.49%	1.57	99.71%
	T3	T3-PA-R1	3	3	1549.3	77.68%	30.8	94.40%
		T3-PA-R2	3	3	1451.7	79.09%	2.05	99.63%
		T3-PA-R3	3	3	1509.3	78.26%	1.57	99.71%

ANEXO n.º 11. Resultados después del tratamiento por adsorción.

Tratamiento	Código	Cantidad de Carbón activado (g)	Tiempo de contacto (minutos)	DQO	% Remoción DQO	Turbidez (NTU)	%Remoción Turbidez
T1	T1-A-R1	500	5	93.1	89.44%	0.87	61.16%
	T1-A-R2	500	5	90.9	89.69%	0.87	61.16%
	T1-A-R3	500	5	94.7	89.26%	0.84	62.50%
T2	T2-A-R1	500	10	80.2	90.90%	0.56	75.00%
	T2-A-R2	500	10	78.8	91.06%	0.57	74.55%
	T2-A-R3	500	10	79.1	91.03%	0.58	74.11%

ANEXO n.º 12. Evidencia fotográfica del experimento.

 <p>Three white plastic bottles with green caps, labeled 'TECNOFLOC 2204', 'TECNOFLOC 2261', and 'TECNOFLOC 2256'. They are placed on a granite countertop.</p>	 <p>A white plastic bottle with a white cap, labeled 'FLOCULANTE' in black marker. It is on a granite countertop.</p>
<p style="text-align: center;">Coagulantes</p>  <p>A white plastic bottle labeled 'HIDRÓXIDO DE SODIO 50%' and a syringe on a granite countertop.</p>	 <p>A scientist in a white lab coat, blue gloves, and a face mask is using a pH meter to adjust the pH of a solution in a bucket.</p>
 <p>A digital pH meter with a black body and a blue screen showing a reading of 7.05. It is on a granite countertop.</p>	 <p>A scientist in a white lab coat, blue gloves, and a face mask is operating a mechanical stirrer in a laboratory setting.</p>



Adición de Floculante



Tratamiento 1 con CO



Tratamiento 2 con CO



Tratamiento 3 con CO



Adición de Cloruro Férrico (CF)



Tratamiento 1 con CF.



Tratamiento 2 con CF



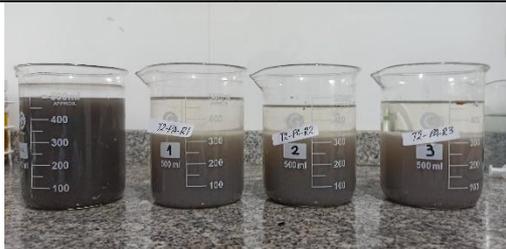
Tratamiento 3 con CF



Coagulación con Policloruro de aluminio (PA)



Tratamiento 1 con PA



Tratamiento 2 con PA



Tratamiento 3 con PA



Adición de muestras a viales de digestión



Medición de turbidez



Adición de muestra tratada con cloruro férrico al proceso de adsorción



Tratamiento 1 con carbón activado



Tratamiento 2 con carbón activado



Medición de DQO mediante el colorímetro



Sistema de Coagulación-Floculación y adsorción a nivel de laboratorio