

Bentonite Clay as a Coadjuvant with Aluminum Sulfate for the Reduction of Physicochemical Parameters in Wastewater from the Textile Industry

Nayca Rosa Alvarado Jimenez Bach.¹, Marcos David Pardo Pacora Bach.¹, and Magda Velásquez Marín Mtr¹ 
¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú, nayca.r.alvarado@gmail.com, marcos.pardo240898@gmail.com, magda.velasquez@upn.edu.pe

Abstract– The purpose of this report is focused on determining the efficiency of Bentonite clay as a coadjutant of Aluminum Sulfate for the reduction of Chemical Oxygen Demand (COD) in wastewater from the textile industry. Regarding the methodology, an experimental approach with a quantitative design was adopted. The experiment was organized around the use of Bentonite as an coadjutant to Aluminum Sulfate, with three different configurations, each repeated four times. The first treatment involved combining 10 grams of Bentonite with 20 grams of Aluminum Sulfate, the second treatment consisted of 15 grams of both components, and finally, the third treatment was carried out using 20 grams of Bentonite and 10 grams of Aluminum Sulfate. The results revealed that the second treatment, with 15 grams of Bentonite and 15 grams of Aluminum Sulfate, exhibited the highest efficacy, reaching a level of 77%. This study concludes that Bentonite is effective as a coadjutant of Aluminum Sulfate, with a dosage of 15 grams for each component, for the reduction of physicochemical parameters in wastewater from the textile industry

Keywords– Bentonite clay, Aluminum Sulfate, Wastewater, Textile industry, Efficiency.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Arcilla Bentonita como Coadyuvante del Sulfato de Aluminio para la reducción de los parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de la Industria Textil

Nayca Rosa Alvarado Jimenez Bach.¹, Marcos David Pardo Pacora Bach.¹, and Magda Velásquez Marín Mtr.¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú, nayca.r.alvarado@gmail.com, marcos.pardo240898@gmail.com, magda.velasquez@upn.edu.pe

Resumen – La finalidad de este informe se centra en determinar la eficiencia de la arcilla Bentonita como coadyuvante del Sulfato de Aluminio para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales de la industria textil. En cuanto a la metodología, se adoptó un enfoque experimental con un diseño cuantitativo. El experimento se organizó en torno al uso de la Bentonita como coadyuvante del Sulfato de Aluminio, con tres configuraciones diferentes, cada una repetida cuatro veces. El primer tratamiento implicó la combinación de 10 gramos de Bentonita con 20 gramos de Sulfato de Aluminio, el segundo tratamiento consistió en 15 gramos de ambos componentes, y finalmente, el tercer tratamiento se llevó a cabo mediante la utilización de 20 gramos de Bentonita y 10 gramos de Sulfato de Aluminio. Los resultados revelaron que el segundo tratamiento, con 15 gramos de Bentonita y 15 gramos de Sulfato de Aluminio, exhibió la mayor eficacia, alcanzando un nivel del 77%. Este estudio concluye que la Bentonita es eficaz como coadyuvante del Sulfato de Aluminio, con una dosis de 15 gramos para cada componente, para la reducción de los parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de la industria textil.

Palabras claves: Arcilla Bentonita, Sulfato de Aluminio, Aguas residuales, Industria textil, Eficiencia.

I. INTRODUCCIÓN

Durante la Revolución Industrial, la industria textil fue la primera en desarrollarse globalmente, evolucionando con técnicas y herramientas que incorporaron productos químicos y tintes sintéticos [1]. Sin embargo, este progreso conllevó el uso extensivo de productos químicos y tintes sintéticos, lo que resultó en la contaminación del agua debido a la descarga de desechos tóxicos y sustancias químicas en los recursos hídricos, utilizados como sistemas de alcantarillado [2]. Esta contaminación representa un riesgo para los ecosistemas acuáticos y la salud humana, dado que muchos de estos compuestos son altamente tóxicos.

La industria textil produce aguas residuales altamente contaminadas con partículas en suspensión, elementos pesados, sustancias químicas orgánicas, microorganismos y materia orgánica, lo que se refleja en una alta demanda química de oxígeno (DQO) [3]. El proceso de fabricación textil requiere una gran cantidad de agua para lavado, teñido y

acabado, lo que ha llevado a la sobreexplotación de los recursos hídricos especialmente en pueblos donde el agua es escasa [4].

El agua desempeña un rol fundamental para mantener vida en la Tierra [5]. Las preocupaciones relacionadas con la disponibilidad y calidad del agua trascienden las fronteras, se espera que la mitad de la población mundial experimentará escasez de agua en el año 2025 [6]. A nivel global, alrededor del 80% de las aguas residuales industriales carecen de tratamiento previo, lo que tiene consecuencias perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas, especialmente en países subdesarrollados con infraestructura insuficiente para la gestión de aguas residuales [7].

Para el 2030 Water Resources Group [8], prevé un déficit hídrico del 40% sin cambios significativos. Según datos del programa AQUASTAT [9], el 19% del agua se destina a la industria; se estima que podrían recuperarse alrededor de 380,000 m³ de agua a partir de los volúmenes de aguas residuales generados anualmente, destacando la importancia de explorar alternativas mediante la recuperación del recurso hídrico [7].

La contaminación química del agua, especialmente con metales pesados, compuestos aromáticos y detergentes, representa un grave problema en el ecosistema acuático y en la salud humana [4]. Los niveles de parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales textiles tienen consecuencias negativas en la calidad del agua, la vida acuática y la degradación del ecosistema marino. La presencia de compuestos orgánicos perjudiciales, altos niveles de aceites y grasas, y un pH ácido contribuyen a la toxicidad para los organismos acuáticos [10].

La industria textil en el Perú ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, representando una parte importante de la economía y el empleo. Según datos proporcionados por el Ministerio de Producción [11], ha mantenido un promedio anual del 6.3% en relación al PBI manufacturero. Sin embargo, se enfrenta a desafíos debido a la contaminación de aguas residuales altamente contaminadas, las cuales son vertidas al sistema de alcantarillado sin tratamiento previo.

La industria textil en Perú, a pesar de su importancia económica, enfrenta desafíos debido al alto uso de agua y la

descarga de aguas residuales contaminadas. Normativas como el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, establecen límites para mitigar los impactos negativos. La presencia de altos niveles de parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales textiles puede tener graves consecuencias ambientales y para la salud [12]. Según la investigación realizada por Requejo [13], se han identificado niveles altos de conductividad eléctrica, color, pH y DQO, en aguas residuales de una empresa textil en San Juan de Lurigancho. Los registros alcanzaron concentraciones de 2100 us/cm, 560 UC, 8.40 pH y 1100 mg/L, superando significativamente los V.M.A estipulados por la Normativa Nacional. En respuesta a estos desafíos, han adoptado prácticas más sostenibles al campo de la reducción de parámetros fisicoquímicos presentes en las aguas residuales textiles.

A raíz de los argumentos mencionados, es necesario llevar a cabo una investigación sobre la disminución del contenido de los parámetros, por lo que se plantea el siguiente objetivo general: Determinar la eficiencia de la arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales de la industria textil.

II. METODOLOGÍA

A. Tipos de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativa, dado que su objetivo radica en medir los resultados y establecer comparaciones entre distintas variables a partir de los datos recopilados, empleando métodos que involucran la recolección y análisis de datos numéricos con el propósito de evidenciar relaciones entre variables y verificar su hipótesis [14]. De este modo, se pretende obtener información precisa y cuantificable que permita profundizar en el tema de estudio.

B. Población y Muestra

La población se define como una serie de criterios predeterminados en un lugar y tiempo específico [15]. En ese sentido, se ha considerado en esta investigación como población a la cantidad total de agua residual industrial del proceso de acabado en la etapa de lavado de hilo o tela proveniente de una empresa textil ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, departamento de Lima.

La muestra es una representación de la población que se examina científicamente con el propósito de obtener conclusiones relevantes sobre el objeto de investigación [16]. Por consiguiente, en esta investigación toma como muestra el agua residual industrial de la empresa, el cual se recolectó para la prueba 40 L de agua del proceso de lavado de telas o hilos en la etapa del proceso textil primario, donde se realizan la limpieza del tejido, el blanqueado, lavado y/o descolado.

C. Técnicas e Instrumentos de Recolección

Las técnicas de recopilación de datos son herramientas y métodos empleados para obtener y medir información de manera sistemática y con un propósito definido [17]. En el marco de la presente investigación, se empleó la técnica

enfocada en la observación experimental, la cual permitirá un análisis detallado y sistemático, lo que contribuirá a la evaluación objetiva de la eficacia de la arcilla Bentonita como coadyuvante del Sulfato de Aluminio en la disminución de parámetros en aguas residuales de la industria textil.

Por otro lado, el instrumento utilizado para la recopilación de datos tiene como objetivo establecer las condiciones necesarias para llevar a cabo la medición [17]. Para la recopilación de datos en campo, se utilizó la ficha de registro, la cual incluyó información sobre la ubicación, la toma de muestras y los resultados de los análisis iniciales y finales.

D. Procedimiento de recolección de datos

Primera etapa – Ubicación geográfica

Según la NTP 214.060.2016 [18], se establecen ciertos pasos a considerar durante el proceso de toma de muestras:

- *Accesibilidad:* Se requiere que el lugar de muestreo esté libre de obstáculos y cumpla con los estándares de seguridad laboral.
- *Comportamiento hidráulico:* Es esencial mantener un flujo constante y uniforme durante la toma de muestras.
- *Dimensiones:* El lugar de muestreo debe tener dimensiones adecuadas para permitir la obtención de una muestra representativa.

La toma de la muestra de aguas residuales de la empresa textil se realizó después del proceso de lavado de tejidos. Estas aguas residuales se almacenan previamente en depósitos para someterlas a un tratamiento antes de su descarga en el sistema de alcantarillado. La elección del lugar y el momento específico, durante el horario de trabajo a las 14:03 horas, se basó en consideraciones del comportamiento hidráulico para asegurar un flujo constante y uniforme sin interrupciones en las operaciones de la empresa.

Segunda etapa – Recolección y cantidad de la muestra

Según lo estipulado en la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016 [18] para la recolección de muestras, se permite el empleo de recipientes de plástico o vidrio, asegurando que la cantidad mínima de muestra sea de 100 mL para garantizar la representatividad y precisión en los análisis. El proceso de recolección se inició a las 14:03 horas del 18 de septiembre de 2023 en la empresa textil en San Juan de Lurigancho, utilizando un brazo muestreador para llenar dos recipientes de plástico de 23 litros cada uno.

Resulta relevante señalar que los recipientes fueron previamente enjuagados con la muestra de efluente con el fin de prevenir posibles variaciones en los parámetros. En total, se recolectaron 46 litros de efluente, distribuidos en dos recipientes, los cuales fueron debidamente etiquetados y almacenados para su análisis en el laboratorio SQA. Este procedimiento meticuloso de recolección y preservación garantiza la integridad de los datos para el estudio.

Tercera etapa – Transporte y cuidado de la muestra

El procedimiento de recolección de datos se fundamentó en la Normativa Técnica Peruana (NTP) 214.060.2016 [18], específicamente para la medición de la Demanda Química de

Oxígeno (DQO) en aguas residuales no domésticas. Aunque la norma sugiere analizar la DQO lo más pronto posible tras la recolección, se optó por realizar el análisis inicial en los laboratorios SQA debido a la necesidad de energía constante del medidor DQO. Las muestras fueron recolectadas en baldes sellados y transportadas cuidadosamente con el objetivo de llevar a cabo un análisis inicial detallado de los parámetros como el DQO, pH y temperatura para verificar si excedían los límites permitidos en el sistema de alcantarillado.

Cuarta etapa – Medición del pH y Temperatura de la muestra

Siguiendo las directrices de la Normativa Técnica Peruana (NTP) 214.060.2016 [18], la medición de parámetros fisicoquímicos como pH y temperatura se lleva a cabo sumergiendo cuidadosamente un electrodo en un recipiente que contiene la muestra recolectada. Este método garantiza la obtención de resultados precisos y confiables, esencial para cumplir con los estándares de calidad y seguridad en los análisis.

La evaluación de pH y temperatura es crucial para identificar propiedades de desechos no domésticos que, si exceden límites permitidos, podrían causar daños a instalaciones e infraestructuras sanitarias. Se empleó un dispositivo multiparámetro marca HANNA 9829, previamente calibrado para garantizar precisión. El procedimiento consistió en la inserción del sensor en un vaso precipitado de 500 ml, donde se vertió la muestra control, seguido por un período de espera para la lectura automática del equipo.

Quinta etapa – Análisis inicial del DQO de la muestra

En esta fase del proceso, se llevó a cabo una meticulosa determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las muestras de efluente. Inicialmente, se calentó el Digestor DQO a 150°C durante 15 minutos, mientras se homogeneizaba la muestra con el reactivo HI94754, reconocido por su especificidad en la medición de DQO. Los reactivos, almacenados en viales codificados con códigos de barras de alta precisión, cumplen con estándares rigurosos.

Tras la homogeneización y alcanzar la temperatura adecuada, la muestra reactiva se introdujo en el digestor y se mantuvo durante 120 minutos, asegurando una reacción química completa. Posteriormente, las muestras se retiraron y enfriaron antes de realizar lecturas precisas de DQO con un fotómetro de alta precisión en el laboratorio SQA. Este proceso meticuloso garantiza la precisión en la determinación de la DQO, esencial para el control de calidad del agua y el cumplimiento de regulaciones ambientales.

Sexta etapa – Proceso de la Bentonita

Durante el proceso, se utilizó Bentonita, conocida como "Cool Cat", una arena para gatos elaborada exclusivamente con Bentonita 100% natural. La elección de este material se hizo con el propósito de reutilizar la arena desechada por mascotas. Se llevó a cabo una transformación física meticulosa sobre aproximadamente 1 kilogramo de Bentonita, triturándola para convertirla en polvo fino.



Fig. 1. Arcilla Bentonita

Séptima etapa – Proceso del Sulfato de Aluminio

Durante la operación, se utilizó Sulfato de Aluminio "Tipo A" suministrado por "Laboratorios Químicos Goicochea". Esta fase implicó una meticulosa separación por tamaño de partícula y una modificación física de 1 kilogramo de Sulfato de Aluminio. Se llevó a cabo una trituration preliminar para convertir los gránulos en polvo fino utilizando un mortero y un pilón, para lo cual se utilizaron los EPP requeridos.

Octava etapa – Tratamiento del agua residual

La fase de investigación y experimentación concluyó con la elaboración de tratamientos finales en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Estos tratamientos combinaron Bentonita como coadyuvante natural del Sulfato de Aluminio. Se manipularon cuidadosamente las proporciones de cada reactivo, utilizando una cuchara de acero y una balanza electrónica calibrada. Se basaron en investigaciones científicas para garantizar la precisión de las proporciones. La información detallada se presenta en la tabla 2, siguiendo las pautas de estudios previos como "Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales" redactado por Arreola et al. [19], así mismo con "Regeneración de Arcillas de Blanqueo Empleadas en la Decoloración de Aceites Vegetales Comestibles" de Haro et al. [20], tal como se identifica en la siguiente tabla.

TABLA I
CANTIDADES DE BENTONITA Y SULFATO DE ALUMINIO

Muestra	Código	Bentonita	Sulfato de Aluminio	Unidad de medida
Control	C-01	-	-	ml
Tratamiento 1	T-01	10	20	gr
Tratamiento 2	T-02	15	15	gr
Tratamiento 3	T-03	20	10	gr

Nota: Cantidades de bentonita y sulfato de aluminio utilizadas en cada tratamiento.

Después de combinar las muestras, se agitaron con una cucharita de acero para garantizar la homogeneización completa. Posteriormente, se llevó a cabo la sedimentación de los contaminantes presentes en las 12 muestras, depositándolas en beakers de 500 ml, como se muestra en la tabla 2. Para la sedimentación, se utilizó un Floculador de Jarras a 200 rpm durante 15 minutos. El propósito de este proceso fue evaluar la eficacia de la Bentonita natural como coadyuvante del Sulfato de Aluminio. Este enfoque buscaba

mejorar la compactación de los contaminantes, acelerando y optimizando el proceso de sedimentación, lo que contribuiría a la reducción de los parámetros fisicoquímicos.



a) b)

Fig. 2. a) y b) Se establecieron las cantidades adecuadas de Bentonita y Sulfato de Aluminio utilizando vasos de precipitados de 500 ml para combinar ambas dosis. Además, se empleó un floculador de jarra para evaluar la eficacia del proceso.

TABLA II
TRATAMIENTO CON BENTONITA Y SULFATO DE ALUMINIO

Tratamiento	Repeticiones	Código	Descripción
Control	1	C-01	Muestra representativa de efluentes textiles
Tratamiento 1	1	T1-01	10 gr Bentonita + 20 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
	2	T1-02	15 gr Bentonita + 15 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
	3	T1-03	20 gr Bentonita + 10 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
Tratamiento 2	1	T2-01	10 gr Bentonita + 20 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
	2	T2-02	15 gr Bentonita + 15 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
	3	T2-03	20 gr Bentonita + 10 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
Tratamiento 3	1	T3-01	10 gr Bentonita + 20 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
	2	T3-02	15 gr Bentonita + 15 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil
	3	T3-03	20 gr Bentonita + 10 gr Sulfato de Aluminio + 500 ml de agua residual textil

Nota: Procedimiento de la concentración de la Bentonita y Al₂(SO₄)₃.

Novena etapa – Estabilización de pH y filtrado

Se ajustó el pH de las muestras recolectadas, inicialmente ácidas, a aproximadamente 6 mediante la adición de 8 g de NaHCO₃. Posteriormente, se introdujeron las muestras en cuatro Beaker de 500 ml, siendo uno de ellos el control y los tres restantes sujetos a tratamientos de estabilización del pH. Estos Beaker se colocaron en un Floculador de jarras, donde se añadió bicarbonato de sodio con dosis de 8 g para cada tratamiento (EP-01, EP-02, EP-03). Se realizaron tres

repeticiones de cada tratamiento con una agitación constante de 20 rpm durante 5 minutos, siguiendo las pautas establecidas por Revollo et al. [10].

En la etapa de filtrado, se coloca el embudo en el soporte universal del laboratorio y se asegura de que esté firmemente sujeto. Se abre el papel filtro y se coloca en el embudo de manera ajustada, cortándolo según sea necesario. Luego, se vierte la muestra acuosa tratada con bentonita y sulfato de aluminio en el embudo con papel filtro. La muestra atraviesa el papel, mientras que los sólidos quedan retenidos en él. Los sólidos retenidos se consideran residuos y se desechan siguiendo los procedimientos establecidos en los protocolos de desecho de residuos del laboratorio.

Décima etapa – Análisis final

Después de la fase de reacción, se tomó una alícuota de cada una de las 12 muestras tratadas, generando un total de dos alícuotas por muestra. Estas fueron envasadas y etiquetadas cuidadosamente en recipientes de plástico, siguiendo estrictos procedimientos de seguridad. Las muestras envasadas se transportaron según los protocolos establecidos al laboratorio SQA. En este laboratorio, se llevó a cabo el análisis definitivo de los parámetros fisicoquímicos de cada muestra después de haber sido sometidas al tratamiento mencionado. Los resultados detallados de este análisis ofrecen información crucial sobre la eficacia del tratamiento y la calidad de las muestras analizadas.

III. RESULTADOS

A. *Objetivo general*

Objetivo general: Determinar la eficiencia de la arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales de la industria textil

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) para verificar la adecuación de los datos a una distribución normal y garantizar la precisión de los análisis subsiguientes. A continuación, se visualiza los resultados de normalidad alineados con los objetivos planteados, tal como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA III
PRUEBA DE NORMALIDAD DE SHAPIRO-WILK

Dosis del coagulante	Grupo Control	Kolmogorov - Smirnov ^a			Shapiro - Wilk		
		Estadístico	gI	Sig.	Estadístico	gI	Sig.
Eficiencia del DQO	10 Bentonita y 20 gr Al ₂ (SO ₄) ₃	.122	6	.200*	.982	6	.043
	15 Bentonita y 15 gr Al ₂ (SO ₄) ₃	.150	6	.200*	.979	6	.075
	20 Bentonita y 10 gr Al ₂ (SO ₄) ₃	.202	6	.200*	.941	6	.760
	Control	.164	6	.200*	.950	6	.780

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

a. Corrección de significación de lilliefors.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk, donde se observa que los valores de p obtenidos fueron mayores a 0.05. Estos resultados respaldan la hipótesis alternativa, indicando que los datos

analizados siguen una distribución paramétrica en el estudio, lo cual es fundamental para el análisis de varianza (ANOVA) en este diseño factorial.

Análisis de ANOVA

Luego de determinar la importancia de cada dosis, se concluyó que se ajusta a un enfoque paramétrico, llevando a cabo la prueba de ANOVA de un factor. La evaluación de la significancia de los datos del estudio científico se realizó mediante la regla de decisión, y los resultados de la prueba de varianza (ANOVA) se presentan en la siguiente tabla.

TABLA IV
PRUEBA DE HIPÓTESIS DE VARIANZA (ANOVA)

Eficiencia del DQO	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	23309.850	3	7769.950	6538527.359	0.00
Dentro de grupos	.024	20	.001		
Total	23309.874	23			

Como se evidencia en la tabla presente, el valor de probabilidad obtenido ($p = 4.4926E-60$) es menor que el nivel de significancia establecido de $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se rechaza la Hipótesis nula (H_1) y se acepta la Hipótesis Alternativa (H_0). Esto implica que “La arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio es eficaz para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales de la industria textil”

Para identificar la eficiencia de las distintas dosis de Bentonita y Sulfato de Aluminio, se llevó a cabo un gráfico de medias, tal como se muestra a continuación:

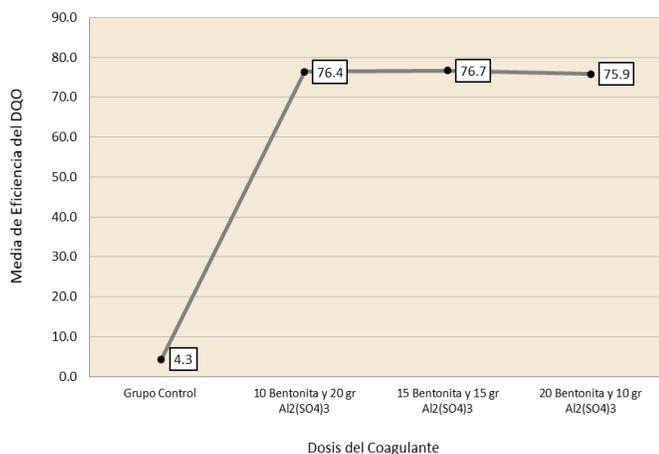


Fig. 3. Gráfico de medias

Análisis de homogeneidad de varianzas

Este trabajo se centra en la importancia del análisis de datos en la investigación sobre la eficacia de la arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio para reducir los parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de la industria textil. Para garantizar la confiabilidad en los

análisis comparativos, se llevó a cabo la prueba de homogeneidad de varianza, como se indica en la tabla 4.

TABLA V
PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Eficiencia del DQO	Se basa en la media	1.037	.982	20	.398
	Se basa en la mediana	.422	.979	20	.740
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.422	.941	10.989	.741
	Se basa en la media cortada	.862	.950	20	.477

El resultado de la prueba de homogeneidad indica que la variabilidad de las varianzas es mayor a 0.05. Esto sugiere que las varianzas no muestran diferencias significativas entre sí, lo que conduce a la aceptación del (H_0). En otras palabras, se respalda la igualdad de varianzas, validando así la homogeneidad.

B. Objetivos específicos

En el Objetivo específico 1: Determinar el nivel de concentración inicial de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), antes de utilizar la arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio en aguas residuales de la industria textil.

Para identificar el análisis inicial del agua residual, se procedió a la toma de la muestra que se llevó a cabo antes de que se completara el proceso de descarga de las aguas residuales generadas durante el lavado de tejidos en la empresa textil en el sistema de alcantarillado municipal. Los resultados de los límites establecidos por la normativa de V.M.A, se detallan en la siguiente tabla.

TABLA VI
PROPIEDADES INICIALES DEL AGUA RESIDUAL

Parámetros	Unidad	Concentración inicial	V.M.A
		C-01	
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg/L	2175	1000
pH	Unidad de pH	5.54	6-9
Temperatura	°c	42.7	<35

En la tabla 6, observa los valores iniciales de las propiedades fisicoquímicas en las aguas residuales industriales durante el proceso de lavado de telas.

En el Objetivo específico 2: Determinar la dosis óptima, tiempo de adsorción y velocidad de agitación del uso de la arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio en aguas residuales de la industria textil.

Se llevaron a cabo pruebas para determinar la dosis ideal, el tiempo de adsorción y la velocidad de agitación que maximizan la eficiencia del proceso utilizando la arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio en aguas residuales de la industria textil.

TABLA VII
DOSIS, TIEMPO DE ADSORCIÓN Y VELOCIDAD DE AGITACIÓN

Tratamiento	Dosis de coagulante		Tiempo de adsorción	Velocidad de agitación
	Bentonita	Al ₂ (SO ₄) ₃		
T1-01	10 gr	20 gr	15 min	200 RPM
T2-02	15 gr	15 gr	15 min	200 RPM
T3-03	20 gr	10 gr	15 min	200 RPM

En la presente tabla se detallan las dosis óptimas de la arcilla bentonita y sulfato de aluminio, así como los tiempos de adsorción y las velocidades de agitación que se implementó en el tratamiento para alcanzar los resultados óptimos en la remoción de los parámetros fisicoquímicos.

Considerando los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos, la opción que demuestra mayor eficacia es el tratamiento T2-02 al aplicar la dosis 15gr de Bentonita y 15gr de Al₂(SO₄)₃ durante 15 minutos a 200 RPM, alcanzado la mayor reducción en los parámetros analizados.

En el Objetivos específicos 3: Determinar la concentración final de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), después de utilizar la arcilla Bentonita como coadyuvante del sulfato de aluminio, y si cumple con la normativa N° 010 - 2019 VIVIENDA en aguas residuales de la industria textil.

Después de aplicar diferentes dosis del coagulante, se analizaron los niveles finales de DQO como resultado del

tratamiento con arcilla Bentonita y sulfato de aluminio. Además, se identificaron los parámetros de pH y temperatura con el objetivo de optimizar procesos químicos, asegurar la eficacia del tratamiento y cumplir con los V.M.A. A continuación, en la tabla siguiente, se proporcionan los resultados detallados de los parámetros analizados:

TABLA VIII
RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Tratamiento	Código	Dosis de coagulante		pH	Temperatura	DQO
		Bentonita	Al ₂ (SO ₄) ₃			
T1	T1-01	10	20	6.23	20.51 °C	514.21
	T1-02	10	20	6.22	20.00 °C	514.00
	T1-03	10	20	6.24	20.9 °C	526.33
T2	T2-01	15	15	6.58	21.41 °C	508.90
	T2-02	15	15	6.55	21.3 °C	508.80
	T2-03	15	15	6.56	21.54 °C	508.90
T3	T3-01	20	10	6.99	21.55 °C	526.40
	T3-02	20	10	9.95	21.50 °C	526.20
	T3-03	20	10	9.96	21.54 °C	526.30
Valores Máximo-Admisibles (V.M.A)				6 - 9	<35	1000

La tabla presenta los promedios de los resultados conseguidos a partir de tres repeticiones para cada tratamiento que incluye Bentonita + Sulfato de Aluminio Al₂(SO₄)₃. A continuación, se identifican las figuras correspondientes a cada análisis.

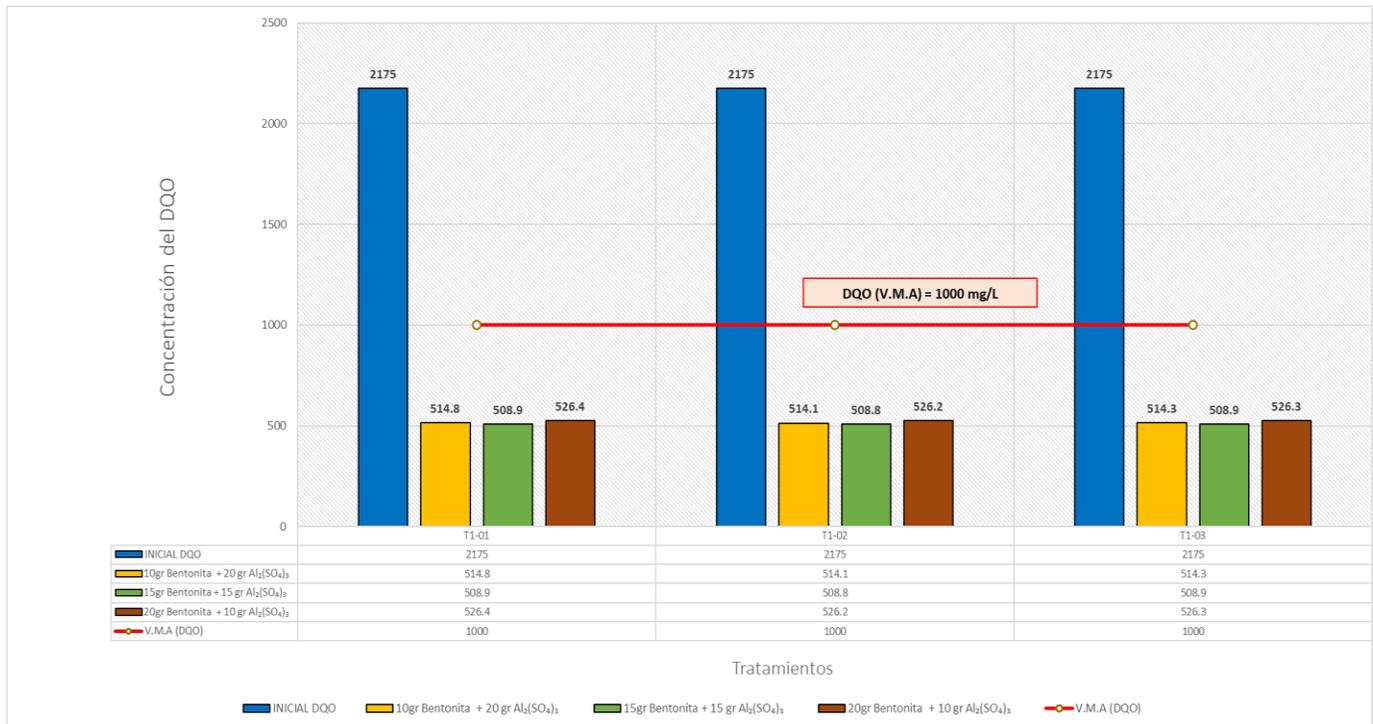


Fig. 4. Reducción del DQO después del tratamiento.

En la presente figura, se evidencia que el tratamiento 2 logró una mayor eficiencia en la reducción de DQO, con un promedio de 508.8 mg/L, respectivamente, en comparación

con el tratamiento 1 y 2, que obtuvieron valores de 514 mg/L y 526.2 mg/L. Estos resultados se mantienen dentro de los Valores Máximos Admisibles, el cual es de 1000 mg/L.

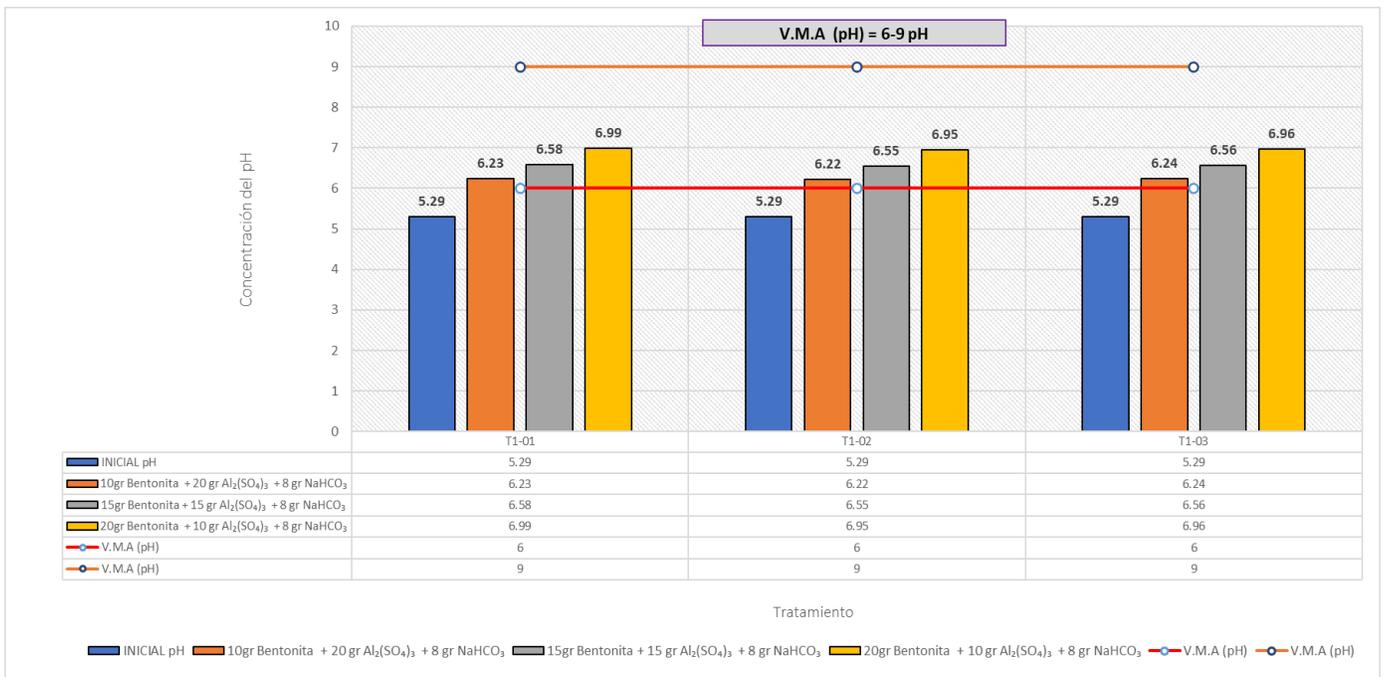


Fig. 5. Reducción del pH después del tratamiento

En la figura 5, se evidencia que el tratamiento 1 logró una eficiencia en el ajuste del pH, con un promedio de 6.02, en contraste con los tratamientos 2 y 3, que presentaron valores de 6.57 y 6.97, respectivamente. Este efecto se alcanzó al agregar gradualmente las dosis al tratamiento bajo análisis,

considerando un período de 15 minutos a 200 RPM. Se observa un incremento progresivo en el pH, alcanzando un nivel adecuado con la aplicación de las tres dosis de BENTONITA + Al₂(SO₄)₃ + NaHCO₃ en cada repetición. Los resultados se mantienen dentro de los Valores Máximos Admisibles, establecidos en un rango de pH entre 6 y 9.

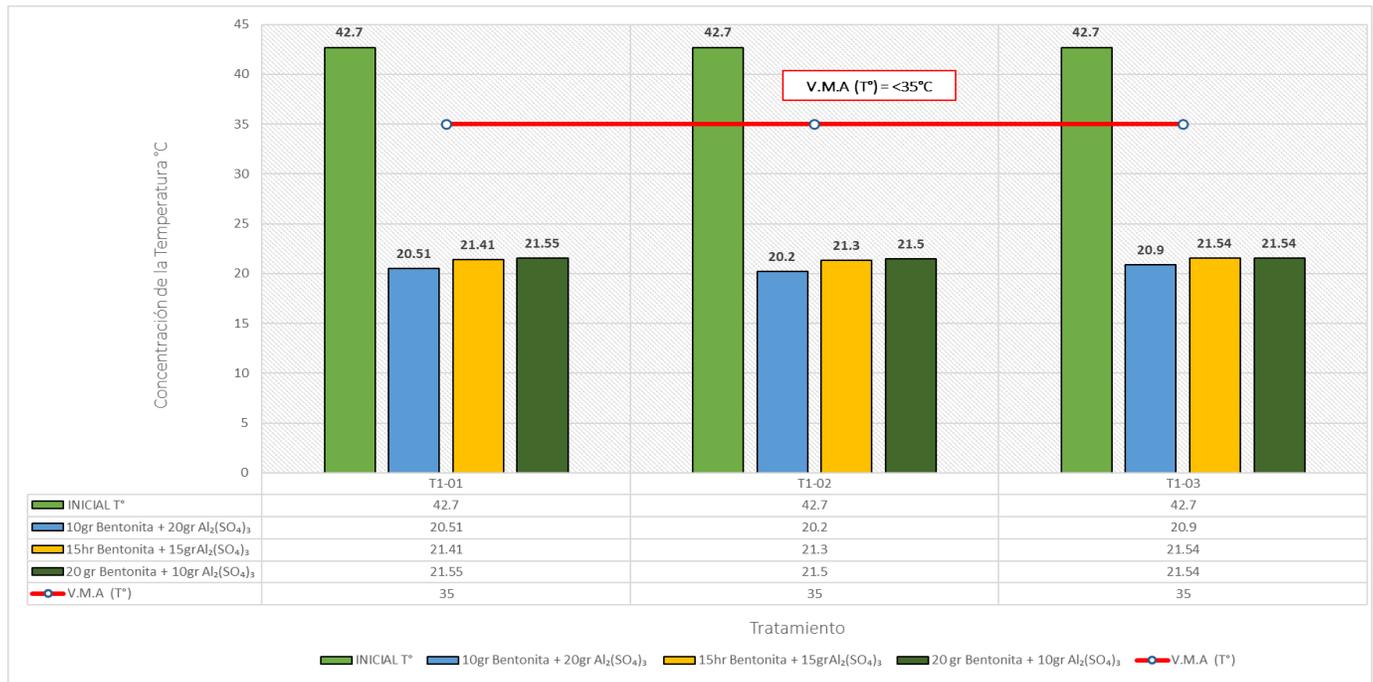


Fig. 6. Reducción de la Temperatura después del tratamiento

En la figura 6, se destaca que el tratamiento 2 logró una eficiencia superior en la temperatura, con un promedio de 20 °C, en contraste con los tratamientos 2 y 3, que presentaron

valores de 21.2 °C y 21.5 °C, respectivamente. Todos estos resultados se mantienen dentro de los Valores Máximos Admisibles.

IV. DISCUSIÓN

La metodología de investigación se enfocó exclusivamente en el tratamiento mediante la combinación de Bentonita y Sulfato de Aluminio, excluyendo otras posibles alternativas de tratamiento, lo que limita la generalización de los hallazgos a métodos no abordados. La investigación se centró específicamente en el tratamiento de aguas residuales textiles después del lavado de telas, restringiendo nuestro alcance a esa área. La escasez de antecedentes actualizados sobre la combinación de Bentonita y Sulfato de Aluminio dificultó la revisión de la literatura y la contextualización de nuestro estudio. Adicionalmente, la obtención de un permiso de ingreso por parte de empresas textiles presentó un desafío que fue superado pero que, en un principio, afectaron tanto la recopilación de datos como en el tiempo de ejecución de nuestro proyecto.

Los resultados de la investigación respaldan la hipótesis, demostrando que la arcilla Bentonita, empleada como coadyuvante del Sulfato de Aluminio, es eficaz en la reducción de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de la industria textil. Se observó una significativa disminución en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), alineándose con los Valores Máximos Admisibles. El segundo tratamiento, combinando 15 gramos de Bentonita y 15 gramos de Sulfato de Aluminio, logró una reducción del 77%, mostrando la máxima eficacia.

Se compararon los resultados obtenidos en este estudio con investigaciones previas. En un estudio de Carrasquero et al. [21], se utilizó una concentración de 80 mg/L de Bentonita y Sulfato de Aluminio, logrando una reducción máxima del 62.6% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y ajustando eficientemente el pH de los efluentes. Además, otro estudio por Andrade et al. [22] señaló que el Sulfato de Aluminio, con una dosis de 280 mg/L, redujo la DQO en un 67%, mientras que la Bentonita, con 240 mg/L, logró una eficiencia del 61.7% en el tratamiento de efluentes industriales alimentarios. Estos hallazgos destacan la efectividad superior de la Bentonita en comparación con los coagulantes químicos convencionales.

Según nuestro primer objetivo específico, el valor inicial de la DQO en las muestras industriales supera los límites permitidos, subrayando la necesidad de abordar la calidad del agua en esta industria. Para ser más precisos en cuanto a los valores encontrados, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se registró con un valor de 2 175 unidades, asimismo se analizó el pH que se situó en 5.29 y la temperatura alcanzó los 42.7 C°. Estos análisis son notoriamente superiores a los valores máximos permitidos por las regulaciones vigentes para el vertimiento de aguas residuales industriales en el sistema de alcantarillado. Según las normativas pertinentes, el límite máximo admisible para la DQO en el vertimiento de aguas residuales es de 1000 unidades, mientras que el rango de pH aceptable se encuentra entre 6 y 9 unidades. Además, la temperatura debe ser inferior a 35 C°.

En el estudio de Villar [23], titulado "Manejo de vertimientos generados por una industria de betunes mediante procesos de precipitación química con bentonita", se realizó una evaluación de los efluentes de una planta de procesamiento de betunes. Se midieron dos parámetros fisicoquímicos clave: la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el pH. Los valores iniciales registrados fueron de 2375 unidades para la DQO y 6.9 unidades para el pH. Estos resultados iniciales indicaron una situación preocupante, ya que ambos valores estaban significativamente por encima de los límites permitidos según el Reglamento Colombiano para el vertimiento de aguas residuales en el sistema de alcantarillado.

La evaluación crítica de los datos revela la gravedad de la situación. En el primer conjunto de datos, se resalta que los niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO) son significativamente altos, superando considerablemente los límites establecidos por las normativas de la VMA. Esto señala la falta de cuidado en el tratamiento de las aguas residuales industriales, representando una amenaza potencial para el ambiente y la salud pública. Los datos subrayan la urgente necesidad de implementar medidas de tratamiento efectivas para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales y proteger el entorno natural de los posibles impactos adversos derivados de estos vertimientos industriales.

Siguiendo nuestro segundo objetivo, es posible observar que se detallan con precisión la dosis óptima de arcilla Bentonita y Sulfato de Aluminio, lo que demuestra la máxima eficacia en la reducción de los parámetros, como la DQO manteniéndose dentro de los límites permitidos para la descarga de aguas residuales en el sistema de alcantarillado. Esto se logra al emplear 15 gramos de arcilla bentonita en combinación con una dosis de 15 gramos de sulfato de aluminio en cada repetición, como se especifica en el tratamiento 2. Además, se han optimizado los tiempos de adsorción y las velocidades de agitación, estableciendo un valor de 200 rpm en el floculador de jarras durante un período de 15 minutos, lo que contribuye de manera significativa a alcanzar los resultados óptimos en la eliminación de los parámetros fisicoquímicos.

En el estudio realizado por Oré [24], denominado "Influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca", se implementó un proceso que incorporó un tiempo de adsorción y una velocidad de agitación específicos. Durante dicho proceso, la velocidad de agitación se estableció en 200 revoluciones por minuto (rpm) y se mantuvo constante durante 5 minutos. Este enfoque se destacó por su eficiencia y rapidez en comparación con otras metodologías, logrando una dispersión efectiva en un breve lapso de tiempo. Cabe resaltar que este éxito se alcanzó mediante el uso de 3 a 5 gramos de coagulante en cada repetición.

Este objetivo se evalúa críticamente, destacando la preocupación por la precisión en la dosificación de dos componentes clave, la arcilla Bentonita y el Sulfato de Aluminio. La meticulosidad en la dosificación se revela como un elemento crucial para lograr la reducción efectiva de los parámetros fisicoquímicos en el agua residual. Este enfoque riguroso subraya la importancia de optimizar los factores fisicoquímicos en el tratamiento de efluentes de la industria de procesamiento de harina, enfocándose en la eficiente eliminación de contaminantes, vital tanto ambiental como económicamente. La dosificación, junto con el tiempo de adsorción y agitación, emerge como un pilar central que determina la eficacia del tratamiento, evidenciando un compromiso serio con la optimización de recursos y la reducción de desperdicios en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

En el enfoque hacia el tercer objetivo, se sumergió en un riguroso proceso de experimentación que implicó la aplicación de distintas dosis de coagulante. La finalidad era analizar un parámetro esencial: la Demanda Química de Oxígeno (DQO), resultado de la aplicación de dos agentes coagulantes, la arcilla Bentonita y el Sulfato de Aluminio. En el primer tratamiento, se registró un valor de la DQO de 514 unidades, mientras que el segundo tratamiento arrojó un valor de 508.8 unidades y, por último, el tercer tratamiento exhibió un valor de 526.2 unidades.

En comparación con el estudio previo realizado por Carrasquero et al. [21], denominado "Tratamiento de efluentes de una industria procesadora de harina mediante coagulación-floculación", los resultados de la investigación revelaron disparidades significativas en los valores de los parámetros analizados. Específicamente, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) alcanzó un valor final de 278,8 unidades, indicando una notable variación en la eficacia del tratamiento de efluentes en relación con el estudio anterior. Además, el pH resultante fue de 5,6. Estas discrepancias subrayan la necesidad de considerar las peculiaridades específicas de cada proceso y el entorno en el que se lleva a cabo el tratamiento de efluentes industriales.

El informe tiene una relevancia teórica al contribuir a la expansión del conocimiento sobre la eficacia de la combinación de arcilla Bentonita y Sulfato de Aluminio en la reducción de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de la industria textil. Este aporte a la literatura científica relacionada con la educación ambiental y el desarrollo de nuevas tecnologías en el tratamiento de aguas residuales es fundamental para avanzar en la comprensión y aplicación de estas prácticas en la industria.

En términos prácticos, los resultados de nuestra investigación indican que la combinación de Bentonita y Sulfato de Aluminio es altamente efectiva en la disminución de parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales de la industria textil. Dada la tendencia de esta industria a generar aguas residuales con niveles elevados de contaminantes como turbidez, DQO, sólidos suspendidos y metales pesados debido

a los procesos de lavado, esto a menudo resulta en violaciones de las normativas de calidad del agua y los valores máximos admisibles en Perú. Los hallazgos de nuestro estudio tienen implicaciones prácticas significativas para la industria textil y las plantas de tratamiento de aguas residuales en el país, ofreciendo oportunidades para mejorar y optimizar los procesos de tratamiento, lo que podría traducirse en reducción de costos operativos y una mayor eficiencia en la reducción de los niveles de DQO en las aguas residuales tratadas.

Los hallazgos de nuestra investigación revelan la significativa implicancia metodológica en la reducción de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales de la industria textil. La combinación de Bentonita y Sulfato de Aluminio demostró una alta efectividad en este proceso. No obstante, se destaca la necesidad de comparar esta técnica con otras disponibles. Se sugiere que futuros estudios adopten un enfoque que permita una evaluación más completa y precisa de la eficiencia de nuestra técnica en comparación con alternativas, crucial para su aplicación práctica y sostenible en la industria textil.

V. CONCLUSIÓN

Esta investigación se centró en la evaluación de la eficacia de la arcilla Bentonita como coadyuvante, en combinación con el sulfato de aluminio, para mitigar la demanda química de oxígeno en las aguas residuales generadas por la industria textil. El tratamiento más efectivo se encontró en la segunda configuración, utilizando 15 gramos de Bentonita y 15 gramos de $Al_2(SO_4)_3$ con una agitación constante a 200 rpm durante 15 minutos, logrando una eficiencia del 77% y evidenciando una reducción significativa. A pesar de que los niveles iniciales de parámetros fisicoquímicos no cumplían con las normativas, el tratamiento logró ajustarlos satisfactoriamente. La concentración final después del tratamiento cumplió con las normativas establecidas, demostrando que la Bentonita actúa de manera eficiente como coadyuvante del sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas residuales industriales provenientes de la industria textil. La dificultad principal radica en el análisis fisicoquímico en laboratorio, que abarca la realización de análisis, preparación de muestras y calibración de equipos, así como la dosificación de reactivos, mezclado y seguimiento de las muestras. Además, el análisis Avanzado e interpretación de datos incluye cálculos de eficacia, uso de softwares y comparación de estándares. En cuanto a los costos, se incurrió en gastos por materiales esenciales como arcilla bentonita, sulfato de aluminio, recipientes, productos químicos y equipo de protección. También se consideraron los costos del uso del laboratorio privado SQA y sus equipos, así como los gastos de transporte. Es relevante destacar que el costo de la arcilla bentonita puede reducirse al reutilizarse, como en este caso, tras su uso inicial en areneros para gatos.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares por apoyarnos en nuestra formación académica. También agradecemos a los profesores y a la Universidad por brindarnos los implementos, asesoría y espacios necesarios para poder realizar nuestro informe.

REFERENCIAS

- [1] Angel, C. & García, C., "Industria textil", Colegio de Estudios Superiores de Administración, pp. 34-51, 2013. [En Línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10726/1972>
- [2] Escudero, A. "La Revolución Industrial. Aula-Historia Social", Aula-Historia Social, no. 5, pp. 16-38, 2000. [En Línea]. Disponible: <https://www.jstor.org/stable/40343057>
- [3] Jones, D. L., Freeman, C., & Sánchez-Rodríguez, A. R., "Waste Water Treatment.", Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition), vol. 3, pp. 352-362, 2017. [En Línea]. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00019-8>
- [4] Pandey, S., "A comprehensive review on recent developments in bentonite-based materials used as adsorbents for wastewater treatment.", Journal of Molecular Liquids, vol. 241, pp. 1091-1113, 2017. [En Línea]. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.115>
- [5] Rojas Gonzaga, D. J., & Sanchez Balarezo, K. L., "Capacidad de adsorción de un material compuesto a base de bentonita y óxido de grafeno para remover arsénico en agua contaminada.", Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2020. [En Línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8443>
- [6] Koncagül, E., Tran, M., & Connor, R., "Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: el valor del agua datos y cifras.", UNESDOC, 2021. [En Línea]. Disponible: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_spa
- [7] Ryder, G., "Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado". UNESDOC, 2017. [En Línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- [8] Fundación Chile et. al., "Desafíos del agua para la región Latinoamericana". FCH, 2017, [En Línea]. Disponible: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/12/desafios-del-agua.pdf>
- [9] UN Water, "El valor del agua.", UN Water, 2021. [En Línea]. Disponible: <https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/07/375751spa.pdf>
- [10] Revollo Chaparro, A. P., "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 MPSARC.", Universidad Privada del norte, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26950/Revolledo%20Chaparro%2C%20Ana%20Paula.pdf?sequence=2&isAllowed=n>
- [11] Produce, "Estudio de Investigación Sectorial sobre el sector Textil y Confecciones del 2011 al 2020.", gob.pe, 2022. [En Línea]. Disponible: <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/649686-produce-publica-estudio-de-investigacion-sectorial-sobre-el-sector-textil-y-confecciones-del-2011-al-2020>
- [12] El Peruano, "Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA", gob.pe, 2019. [En Línea]. Disponible: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010%202019-vivienda>
- [13] Requejo, I., "Reducción de los parámetros fisicoquímicos mediante fotocatalisis con dióxido de titanio para el tratamiento de agua residual del proceso de teñido de una empresa textil en el año 2018.", Universidad Privada del Norte, 2020. [En Línea]. Disponible: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25199/Tesis%20Ive%20Requejo%20Cabello.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] Babativa C., "Investigación cuantitativa". AREANDINA-Fundación Universitaria del Área Andina, 2017. [En Línea]. Disponible: <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/3544/Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa.pdf>
- [15] Hernández, Fernández & Baptista, "Metodología de la investigación. México.", SEMAR. [En Línea]. Disponible: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION.pdf
- [16] Rivero Lazo, M., Meneses Jara, P., García Céspedes, J., Anibal Rivero, R. & Zevallos Choy, E., "Metodología De La Investigación.", Universidad Nacional Hermilio Valdizán, 2021. [En Línea]. Disponible: <https://www.unheval.edu.pe/webs/repositoriounheval/descargar?file=6929a54a6c2d1bd23441c809ba825225b278cdc705294fd6c403596238cbac25a56d61feb38643fa5f2b03501b227c81a8c72f60416ff3dd32ad73dd72e8b95f15d5a6bdc4944a053dfb5714537863680c>
- [17] Caro, L., "7 técnicas e instrumentos para la recolección de datos." Disponible: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25172w/M1CCT05_S3_7_Tecnicas_e_instrumentos.pdf
- [18] INACAL, "Norma Técnica Peruana NTP 214.060. AGUAS RESIDUALES. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado.", INACAL, 2016. [En Línea]. Disponible: <https://www.epsgrau.pe/webpage/controlador/archivos/23320.pdf>
- [19] Arreola, M. M. S., & Canepa, J. R. L., "Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales.", Revista Ingeniería, vol. 17, no. 2, pp. 93-101, 2013. [En Línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>
- [20] Haro, C., Aragon, C., de la Torre, E., & Guevara, A., "Regeneración de Arcillas de Blanqueo Empleadas en la Decoloración de Aceites Vegetales Comestibles.", Revista Politécnica, vol. 34, 2014. [En Línea]. Disponible: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica/2/article/view/317
- [21] Carrasquero, S., Cordero, R., Mas, M., & Vargas, L., "Tratamiento de efluentes de una industria procesadora de harina mediante coagulación-floculación.", Revista Multiciencias, vol. 15, no. 3, pp. 256-264, 2015. [En Línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90444727003.pdf>
- [22] Andrade, G. J. C., Carrasquero, S., Segovia, A., Zambrano, G., & Díaz, A., "La bentonita como agente clarificante de un efluente industrial alimentario: su comparación con coagulantes químicos tradicionales.", Revista Bases de la Ciencia, vol. 5, no. 2, 2020. [En Línea]. 5. Disponible: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v5i2.1978
- [23] Villar, P. A. A., & Castrillón, D. B., "Manejo de vertimientos generados por una industria de betunes mediante procesos de precipitación química con bentonita." Universidad de La Salle, 2019. [En Línea]. Disponible: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/949/
- [24] Oré Asparrin, A., "Influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca.", Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017. [En Línea]. Disponible: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3770>