Publicaciones en Ciencias y Tecnología, vol 16. Nº 2, julio-diciembre (2022), pp. 54-68.

Artículo de investigación

Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado

Evaluation of the efficacy of synthetic and natural coagulants in the treatment of wastewater generated in the production of fishmeal

Naomy Nicolle Cevallos Coox[a*], Gabriel Alfonso Burgos Briones[a], Alexandra Córdova Mosquera[a]

[a]*Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas Portoviejo, Ecuador.*

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155 Recibido: 03/06/2022 Aceptado: 12/08/2022

Resumen

El agua residual de las industrias productoras de harina de pescado presenta un alto contenido de materia orgánica, turbidez y grasas, lo que dificulta su tratamiento y disposición final. Este estudio consiste en evaluar la eficiencia de coagulantes naturales frente a coagulantes sintéticos en función de la turbidez y los factores que influyen en ella, mediante un estudio cuantitativo experimental. Los coagulantes naturales usados fueron gel de *Aloe vera* y mucílago de pitahaya *Selenicereus undatus*, mientras que los coagulantes sintéticos fueron policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio. Debido a la alta concentración de grasas presentes en el agua estudiada respecto al valor de referencia se realizó un pre sedimentado del agua sin ningún tipo de acción mecánica ni coagulante resultando la eliminación de grasas del 92%. La turbidez inicial del agua residual fue 1130,67 NTU, obteniendo porcentajes de remoción para PAC, sulfato de aluminio, pitahaya y *Aloe vera* de 99,59%, 99,87%, 62,26%, 75,15% respectivamente, los valores finales de DQO para el coagulante sintético y el coagulante natural más efectivo fueron 18 mgO_2/L y 839,35 mgO_2/L correspondientemente. Este estudio pretende promover el uso de recursos amigables para el ambiente, garantizando una remoción eficiente de la contaminación del medio acuoso.

Palabras clave: agua residual; Aloe vera; coagulantes; Selenicerus undatus; turbidez.
Código UNESCO: 2303-31– Química del agua. Código CAPE: 30603021 – Ingeniería química, agua.

Abstract

Wastewater from the fishmeal production industry has a high content of organic matter, turbidity and fats, which makes its treatment and final disposal difficult. Therefore, this study focuses on evaluating the efficacy of coagulants of natural origin versus synthetic coagulants, as a function of turbidity and the factors that influence it by applying an experimental quantitative study. The natural coagulants used were *Aloe vera* gel and *Selenicereus Undatus* pitahaya mucilage, while the coagulants of chemical origin were aluminum polychloride (PAC) and aluminum sulfate. So that to the high concentration of fat present in the discharge water with respect to the reference value, a pre-sedimentation of the water was carried out without any type of mechanical or coagulating action, resulting in the elimination of fats of 92%.The initial turbidity of the wastewater was 1230.33 NTU, obtaining turbidity removal percentages for PAC, aluminum sulfate, pitahaya and *Aloe vera* in the order of 99.58%, 99.87%, 62.26%, 75.15%, respectively. On the other hand, the COD for the most efficient synthetic coagulant and natural coagulant, was 18 mgO2/L and 839.35 mgO2/ correspondingly. This study aims to promote the use of friendly resources for the environment, guaranteeing an efficient removal of contamination from the aqueous environment.

Keywords: wastewater; Aloe vera; coagulants; Selenicerus undatus; turbidity.
UNESCO Code: 230301 – Water chemistry. CAPE Code: 30603021– Chemical Engineering – Water.

PUBLICACIONES EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA, revista científica de publicación continua, dos números al año, editada en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) en la ciudad de Barquisimeto, Venezuela, bajo la Licencia CC BY-NC-SA. ISSN:1856-8890, EISSN:2477-9660. Depósitos legales: pp200702LA2730, ppi201402LA4590.

Autor de correspondencia.
***Naomy Nicolle Cevallos Coox*.** ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3244-6878. Correo: ncevallos0443@utm.edu.ec. Ingeniera Química. egresada de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
Gabriel Alfonso Burgos Briones. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1291-4083, Correo: gabriel.burgos@utm.edu.ec, Ingeniero Químico. Master en sistemas integrados de gestión. Docente en el Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
Alexandra Córdova Mosquera. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4299-4798. Correo: rosa.cordova@utm.edu.ec. Ingeniera Química, Magister en administración ambiental, Doctora en ciencias. Docente en el Departamento de procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología de la Facultad de ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

1. Introducción

La producción de harina de pescado es una industria que está causando problemas ambientales graves debido a la generación de residuos de varias índoles, entre los que están las aguas residuales que son difíciles de tratar por su alto contenido de materia orgánica, turbidez y grasa [1]. Entre las características del agua residual que pueden afectar el cuerpo receptor se encuentran los cambios en la salinidad, disminución del oxígeno disuelto, aumento de la demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5), aumento de nutrientes, alta carga de sulfuros y amonio e incremento de la temperatura, lo que puede ocasionar efectos en el mediano y largo plazo, tales como como los fenómenos de eutrofización [2]. Por esta razón, a partir del año 2008 se han asumido compromisos ambientales con el fin de minimizar los impactos ocasionados por el desarrollo de las actividades productivas, entre los que destacan el tratamiento de los efluentes industriales previo a la descarga hacia los cuerpos de agua [3].

Existen diferentes tecnologías de tratamiento que son aplicadas a las aguas residuales industriales para su remediación y transformación en efluentes con características apropiadas para su descarga en cuerpos hídricos; sin embargo, la coagulación y floculación son procesos que pueden mejorar potencialmente las propiedades físicas y químicas del agua tratada [4]. Específicamente, la remoción de sólidos en suspensión se puede lograr mediante la adición de coagulantes; aunque se ha determinado que el uso de coagulantes de origen químico está asociado a elevados costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y alteración del pH del agua tratada [5]

Los procesos de coagulación y floculación se realizan con coagulantes químicos o naturales, que son añadidos a las aguas residuales con el fin de desestabilizar partículas coloidales y formar grandes flóculos a través de la agregación de partículas. En este sentido, los coagulantes sintéticos mayormente utilizados para el tratamiento del agua son las sales de hierro y aluminio, debido a su elevada efectividad y bajo costo; no obstante, la exposición al aluminio tiene efectos negativos en la salud de las personas, así como daños ambientales [6]. Razón por la cual, se estudian alternativas naturales y amigables con el medio ambiente, de modo que los coagulantes naturales se presentan como una alternativa viable, debido a que son biodegradables, de bajo costo y se encuentran abundantemente en la tierra; estos pueden ser desde semillas hasta cáscaras de frutas [7]

En Ecuador, los trabajos experimentales con biopolímeros y coagulantes naturales se encuentran aún en constante investigación. Una prueba de ello es la investigación realizada por Ojeda [8], presentada como "Determinación de la Eficiencia de las Características coagulantes y floculantes del *Tropaeolum tuberosum*, en el Tratamiento del agua cruda de la Planta de Puengasí de la EPMAPS". Este estudio empleó como biopolímero el almidón de Mashua, dando como resultado que el biopolímero natural estudiado no puede ser un reemplazo del sulfato de aluminio como coagulante, debido a que a partir de su dosis óptima (0.5 mg/L y 0.5%) los valores de turbiedad, color y pH del agua tratada no cumplen con la Norma INEN 1108:201, la cual indica los valores referenciales del agua potable antes de ser consumida por el ser humano.

Los mucílagos son polisacáridos ampliamente distribuidos en varias plantas, se expanden cuando son disueltos en agua y forman una sustancia viscosa de textura parecida a la gelatina. Estos materiales han sido utilizados en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales a través de procesos de coagulación y floculación [9]. El mucílago de la pitahaya está presente en algunas partes de la planta como la hoja, el fruto y el tallo, contiene ácido galacturónico que por lo general es el agente de coagulación activo predominante. Por lo general, este componente provee de sitios activos en la cadena polimérica para partículas de adsorción y estimula el proceso de coagulación [10].

Por su parte, el gel de la sábila o *Aloe vera* está compuesto 98,5% de agua; además de ser rico en mucilagos, su composición química presenta lípidos, antraquinonas, minerales, carbohidratos, enzimas, vitaminas, compuestos orgánicos, aminoácidos y carbohidratos. Así mismo, presenta polisacáridos que se encuentran formados de monosacáridos que cumplen la función de servir como reservas de energía

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

de distintas plantas de composición similar [11]. Los polímeros que se encuentran presentes en el *Aloe vera* son sustancias de interés para estudios enfocados en el área de saneamiento, en vista de su potencial para desestabilizar (coagular) suspensiones coloidales presentes en aguas naturales [12].

Por consiguiente, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de la turbidez de las aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado comparando diferentes tipos de coagulantes de origen natural (*Aloe vera* y mucilago de pitahaya *Selenicereus Undatus)* y de uso comercial (policloruro de aluminio y sulfato de aluminio), con la finalidad de tener mayor conocimiento acerca de la eficiencia de los coagulantes mencionados en aguas con estas características pudiendo así poder promover el uso de tratamientos amigables con el medio ambiente.

2. Desarrollo

2.1 Materiales y métodos

Esta investigación se realizó por medio de un diseño experimental haciendo uso de análisis estadísticos de datos, los cuales consistieron en realizar test de jarras al agua de descarga usando diferentes dosis de los cuatro coagulantes, para determinar la mejor dosis aplicada de cada uno de los coagulantes estudiados de cada uno de ellos en la cual alcanzan su máximo poder de remoción de turbidez y poder calcular la eficiencia de los mismos, para verificar que el agua tratada se encuentre dentro de los límites de descarga al alcantarillado, empleando para tal fin las especificaciones del texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente TULSMA [13], la cual establece la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua.

a. Muestras de agua residual

El agua residual se obtuvo de una fábrica de harina de pescado ubicada en la ciudad de Manta (Ecuador). Se realizó un muestreo compuesto, que consistió en la toma de muestras en el punto de descarga durante 24 horas, con un intervalo de muestreo de 1 hora.

b. Caracterización del agua de descarga

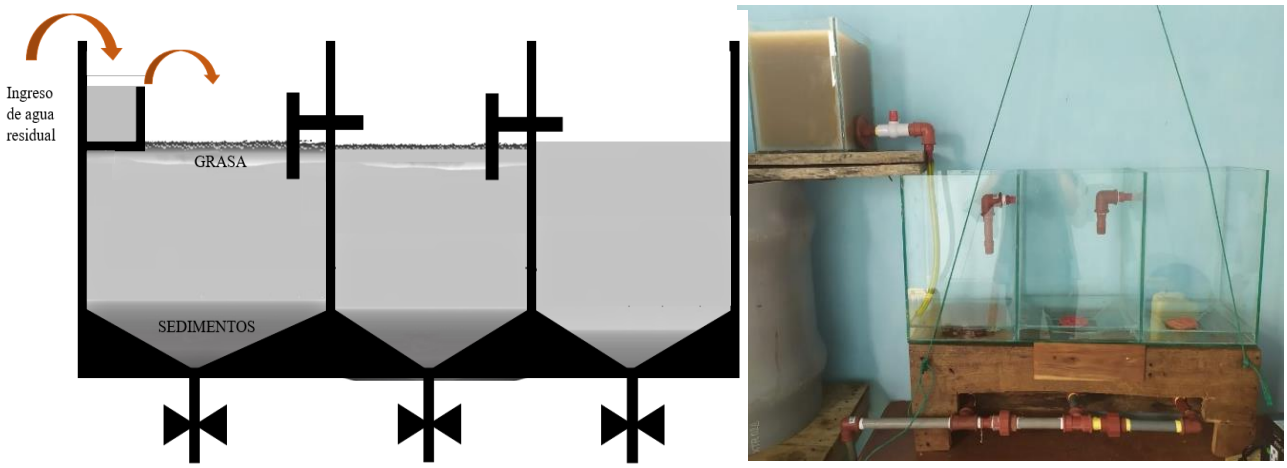
Los análisis previos al inicio de la investigación experimental se realizaron con la finalidad de conocer las condiciones iniciales en las que se encontraba el agua a estudiar. Las muestras se caracterizaron en cuanto a pH, DQO, turbidez. Sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, sólidos totales y tensoactivos. Para la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos se hizo uso de lo establecido en los métodos estándares (*Standard methods)* publicados por la *American Public Health Association* (APHA) [14], a continuación se detallan los equipos utilizados para medir los parámetros expuestos: pH se utilizó un multi-parámetro Hach modelo HQ40d, para DQO se utilizó un equipo DR5000 con un procedimiento por digestión, para la turbidez se utilizó un equipo Hach 2100Q, sólidos suspendidos, totales sólidos totales y grasas se utilizó una balanza analítica Boeco BC100, finalmente para tensoactivos se utilizó un equipo DR5000.

c. Diseño del pre tratamiento

Debido a la alta cantidad de grasa y sólidos suspendidos sedimentables presentes en el agua residual con respecto a los valores de referencia establecidos en la normativa de descarga de aguas residuales al alcantarillado público se realizó el diseño de un pre sedimentador, basándose en una prueba de cono imhoff para determinar el tiempo de sedimentación y caudal de alimentación del agua al sistema [15]. En la Fig. 1a se puede apreciar el modelo del pre tratamiento, el cual consistió en una trampa de grasa combinada con un presedimentado. Esta maqueta a escala (Fig. 1b.), está elaborada en vidrio de 6 mm de grosor para permitir una mayor visibilidad del sedimento y del nivel de grasa contenido en el agua y

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

en su fondo una estructura cónica para permitir que el sedimento descienda. El modelo de la prueba imhoff reflejó que en 9 minutos se sedimentaron 100 ml de sólidos, obteniéndose como resultado un sistema de tres piscinas de 17,5 litros de capacidad cada una, con dimensiones de 25 cm de largo, 20 cm de ancho y 35 cm de altura para cada uno, con un caudal de alimentación de 100 mililitros por minuto. El tiempo de llenado de cada piscina es de 1 hora, lo que permite que el agua se sedimente, además de poder retirar la grasa presente de manera manual.



a) Diseño digital. b) Diseño a escala.

Fig. 1. Diseño del pre tratamiento.

d. Coagulantes

Se utilizaron dos tipos de coagulantes, con el fin de comprobar y comparar la eficiencia que tiene cada uno de ellos sobre la turbidez del agua de descarga estudiada. Los de origen natural se obtuvieron de la pitahaya *Selenicereus undatus* y *Aloe Vera*, mientras que los de origen químico fueron el policloruro de aluminio y sulfato de aluminio. Tanto las cáscaras de pitahaya así como el *Aloe vera*, se recolectaron en el mercado municipal de la ciudad de Portoviejo, Ecuador. Por otra parte, los coagulantes químicos fueron adquiridos en casas comerciales.

e. Obtención de mucílago de piel de pitahaya

El mucílago de pitahaya se obtuvo siguiendo los pasos establecidos por la metodología de Oanh Thi Hoang Le et al. [16]. Se recolectaron las cáscaras de pitahaya, posteriormente se lavaron y cortaron en piezas cuadradas de aproximadamente 5 milímetros. El secado se realizó a 50 ^{o}C hasta peso constante, una vez secas se mezclaron con agua destilada en relación 1:8 (peso: volumen). La solución se calentó a 60 ^{o}C durante 1 hora para luego enfriarla durante 1 hora, esto para aumentar la cantidad de mucílago disuelto en el agua destilada. La solución se filtró a través de 8 capas de muselina para recoger el filtrado que contiene el mucílago. Una vez obtenido el filtrado se precipitó con acetona con relación de volumen 3:1, este precipitado se lavó de 3 a 4 veces con alcohol de alta concentración (98% p/p), con el fin de remover adhesivos en la superficie. El precipitado fue secado a una temperatura de 40 ^{o}C hasta peso constante. Finalmente, se trituró hasta la obtención de un polvo fino.

f. Obtención del gel de Aloe vera

Para obtener el gel de *Aloe vera* se siguió la metodología establecida por Diestra y Ramos [17]. Se lavó la penca de sábila con agua potable y posteriormente con agua destilada, se retiraron las espinas

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

laterales para luego dejar remojando en un recipiente con agua para eliminar la aloína. Después se descortezó y cortó en pedazos finos con la ayuda de un bisturí, finalmente se colocó en bandejas enrejadas para secar a una temperatura de 45 ^{o}C durante 12 horas. Por último se trituró y obtuvo un polvo de color amarillento.

g. Diseño del experimento

Las variables a evaluar y lo complejo del proceso de coagulación-floculación son la razón por la cual los procedimientos que se llevan a cabo en el mismo tienen un consumo significativo de tiempo y un número alto de experimentos, como se puede concluir en el trabajo realizado por Suarez [18], por tanto, las metodologías estadísticas permiten identificar los factores variables que tienen una mayor influencia en la variable de respuesta [19], en esta sección se exponen la influencia que tiene la dosificación de cada uno de los coagulantes sobre la remoción de la turbiedad, para así poder obtener la mejor dosis de los coagulantes la cual presentara el menor valor de turbidez.

El factor variable será la dosis de coagulante aplicada al agua de descarga, la variable de respuesta será el valor de turbidez reportado en NTU, y los factores constantes serán el tipo de agua, tiempo de mezcla rápida, tiempo de mezcla lenta y tiempo de sedimentación, a continuación en el Cuadro 1 se muestra las dosificaciones empleadas de cada uno de los coagulantes sintéticos y naturales y el valor de turbidez que refleja cada uno de ellos pudiéndose así comprobar que la dosis escogida de cada uno es la mejor debido a que presentaron menor valor de turbidez.

Cuadro 1. Dosificaciones de los coagulantes con su respectivo valor de turbidez para determinación de la mejor dosis de los coagulantes empleados.

Coagulantes sintéticos				**Coagulantes naturales**			
Policloruro de aluminio		**Sulfato de aluminio**		**Mucilago de piel de pitahaya**		**Gel de *Aloe vera***	
Dosis (mg/L)	**Turbidez (NTU)**	**Dosis (mg/L)**	**Turbidez (NTU)**	**Dosis (mg/L)**	**Turbidez (NTU)**	**Dosis (mg/L)**	**Turbidez (NTU)**
10	264	10	80,4	10	604,666667	10	452,133333
20	60,9333333	20	16,9	20	524,4	20	443,733333
30	37	30	4,59666667	30	507,466667	30	437
40	4,64	40	3,00666667	40	490	40	426,333333
50	5,19666667	50	1,51	50	472	50	423,333333
60	7,96333333	60	3,14333333	60	471,333333	60	419,333333
				70	454,4	70	400,333333
				80	441,666667	80	399,666667
				90	426,666667	90	395
				100	434,666667	100	281
				110	482,666667	110	296,766667

h. Test de jarras

Los ensayos de determinación de la dosis óptima de cada uno de los coagulantes se realizaron en un test de jarras marca Y.Q, modelo YFL6, equipado con seis paletas giratorias y con igual número de vasos de precipitación con capacidad de 1 litro (Fig. 2). Tanto los coagulantes naturales como sintéticos fueron preparados al 40% (m/v) y se dosificaron tal como se muestra en el Cuadro 2. La velocidad de agitación en la mezcla rápida fue 250 rpm durante un minuto y en la mezcla lenta fue 35 rpm durante 15 minutos. Asimismo, el tiempo de sedimentación fue 30 minutos para todas las muestras [20].

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

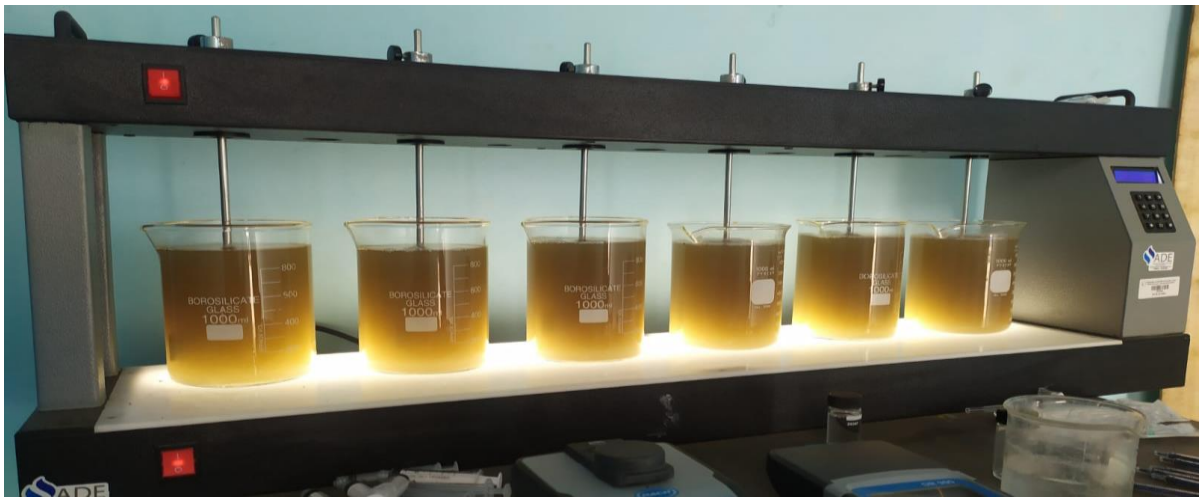


Fig. 2 Ensayos de test de jarras para la determinación de la mejor dosis de cada uno de los coagulantes empleados.

Cuadro 2. Declaración del barrido de dosificaciones empleadas para cada coagulante.

Tipo de coagulante		Dosis (mg/L)
Natural	• Gel de *Aloe vera* • Mucílago de cascara de pitahaya	10 a 110 en intervalos de 10 en 10
Sintético	• Policloruro de aluminio • Sulfato de aluminio	10 a 60 en intervalos de 10 en 10

Haciendo uso del test de jarras se logró determinar el porcentaje de remoción de cada uno de los coagulantes utilizados aplicando las dosis que presentaron menor valor de turbidez en los ensayos realizados para cada uno de los coagulantes, obteniendo así la turbidez final, con estos datos se puede calcular el poder de remoción que tienen los coagulantes aplicando la ecuación 1:

$$\%\text{remoción} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez Final}}{\text{Turbidez inicial}} \times 100 \qquad (1)$$

i. Análisis estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el software de estadístico IBM SPSS versión 22. Todas las experimentaciones realizadas en esta investigación, se realizaron por triplicado reportando los valores promedios.

2.2 Resultados

a. Resultados de la caracterización del agua de descarga

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la caracterización realizada al agua de descarga de la empresa productora de harina de pescado, se pueden observar parámetros como el pH, DQO, turbidez, sólidos suspendidos totales, aceite y grasas, sólidos totales, y tensoactivos de los cuales ninguno cumple con los valores de referencia establecidos en la tabla 8 del libro del TULSMA [13], que establece los límites de descarga al sistema de alcantarillado público, los análisis presentados se hicieron por

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

triplicado y se expresan con la media. La información expuesta es respaldada por Arias y Méndez [21], quienes analizaron el agua de descarga de una industria de harina de pescado obteniendo valores similares a los expuestos.

Cuadro 3. Caracterización fisicoquímica de las aguas de descarga de la empresa productora de harina de pescado y declaración de conformidad con los valores de referencia TULSMA.

Parámetro	Resultados (media)	Desviación estándar	Valores de Referencia según la tabla 8 del libro VI del TULSMA	Declaración de conformidad
Potencial de Hidrógeno	9,21	0,04	6,0 – 9,0	No cumple
Demanda Química de Oxígeno	5.395,70 mgO_2/L	38,95	500 mgO_2/L	No cumple
Turbidez	> 800,00 NTU	1,53	-	-
Sólidos Suspendidos totales	1.006,75 mg/L	0,55	220 mg/L	No cumple
Aceites y Grasas	360,68 mg/L	5,04	70 mg/L	No cumple
Sólidos Totales	2.536,20 mg/L	8,74	1600 mg/L	No cumple
Tensoactivos	22.100 mg/L	0,06	2 mg/L	No cumple

b. Condiciones iniciales del agua y al final del pre tratamiento

Se dejó sedimentar los flóculos sin ningún tipo de acción mecánica ni floculantes, requiriéndose así un lapso de tiempo para que se produzca una separación en la que se formaron dos fases, una sólida que tiende a precipitarse y una líquida libre de sólidos en la superficie conforme a lo expuesto por Pizarro et al. [22]. Se determinaron los parámetros físicos de turbidez, color, sólidos suspendidos y pH, obteniendo así como resultado para el agua de descarga una turbidez de 1153,33 NTU, color de 8197,33 PCU, sólidos suspendidos de 850,67 mg/L, y pH de 7,1. Así mismo, al final del pre tratamiento se evidenciaron los siguientes valores: turbidez de 753,33 NTU, color de 5424 PCU, sólidos suspendidos de 600 mg/L y pH de 7,1. En base a los datos reportados en la etapa de pre sedimentado, se obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez del 34,68%; además, se observa la reducción de los demás parámetros como son el color y sólidos suspendidos con una reducción de 33,83% y 29,47% respectivamente a diferencia del pH que se mantiene, lo que se puede observar en la Fig. 3. Estos valores contrastan favorablemente con los valores expuestos por Figueroa [23], quien propone tratamientos primarios para la eliminación parcial del alto contenido de sólidos suspendidos antes de empezar cualquier tipo de tratamiento físico-químico, siendo una alternativa viable para implementar nuevamente estos sedimentos a la línea de producción.

c. Volumen de grasa removida por el pre tratamiento

En este sistema la recuperación de las grasas se genera a través de separación natural, este presenta una inclinación en el fondo del tanque que hace que los sólidos se sedimenten mientras que su parte ligera comienza a flotar, es decir las grasas de esta manera se podrá remover las grasas ya sea de forma manual o mecánica, el mismo principio fue usado por Rondón & Zumaran [24]. En esta investigacion el nivel de grasa que se obtuvo en la primera piscina fueron dos centímetros de altura y en la segunda piscina un centímetro, mientras que en la tercera piscina el nivel de grasas fue imperceptible o nulo (Fig. 4). Para calcular el volumen de grasas removidas se hizo uso del área de cada piscina, evidenciando que la

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

primera piscina pudo remover 1,5 litros de grasa/ m^3 de agua residual, mientras que en la segunda piscina extrajo 0,75 litros degrasa/ m^3 de agua residual. Estos valores fueron recolectados pasada media hora con las dos primeras piscinas al límite de su capacidad.

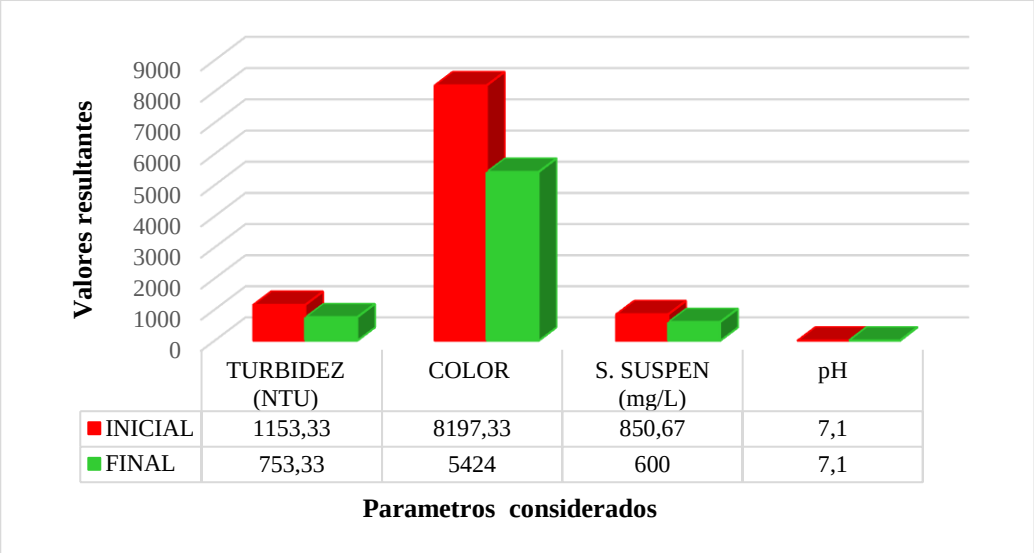


Fig. 3 Caracterización fisicoquímica antes y después del pre tratamiento sin acción mecánica ni floculantes.

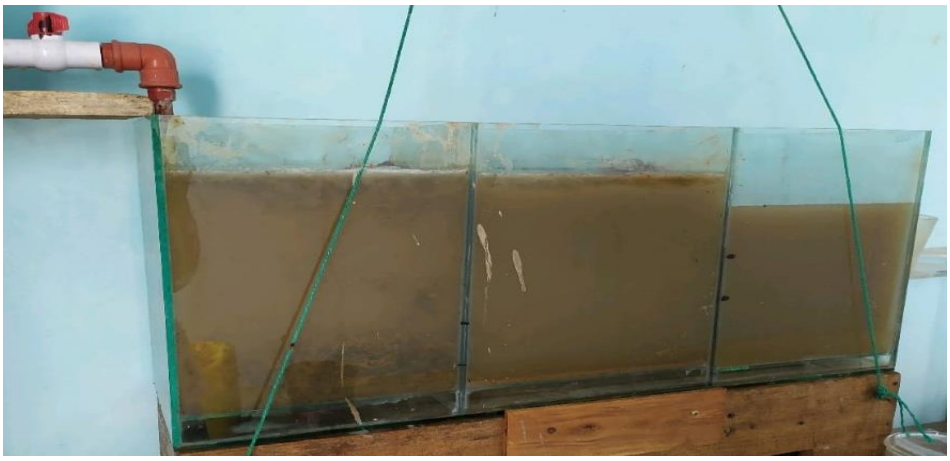


Fig. 4 Grasa presente en el pre tratamiento.

d. Determinación de la mejor dosis de los coagulantes empleados

La mejor dosis de un coagulante es de suma importancia ya que al obtenerla no economiza únicamente la cantidad de coagulante a utilizar, sino que además mejora la floculación y minimiza la formación de complejos tóxicos [25]. Para la determinación de las mejor dosis se hicieron ensayos experimentales utilizando el test de jarras y probando diferentes dosificaciones de los coagulantes utilizados, se evidencia así la cantidad de coagulante que tiene mayor poder de remoción de los parámetros medidos

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

para una mejor comprensión se expone la Fig.5 la cual muestra de manera gráfica el comportamiento de la turbidez respecto a las dosificaciones empleadas de los coagulantes naturales y sintéticos.

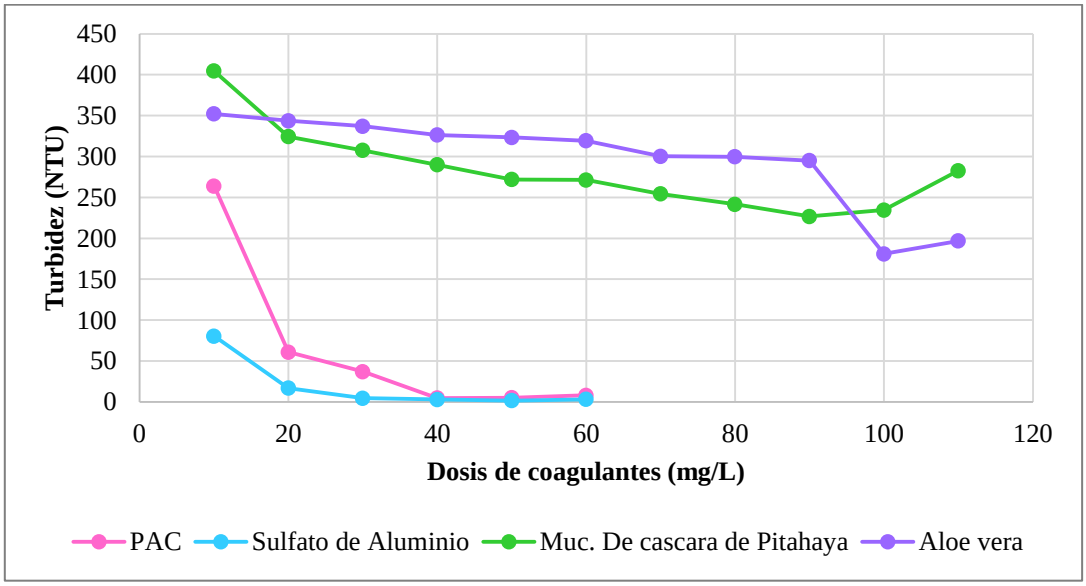


Fig. 5 Variación de la turbidez, en función de la dosis aplicada de coagulante evaluado (PAC, Sulfato de Aluminio, mucílago de Pitahaya y *Aloe Vera*).

Con base a las pruebas realizadas, se obtuvieron las mejores dosis de cada uno de los coagulantes, en el Cuadro 4 se encuentran expuestos los valores obtenidos en los diferentes parámetros medidos utilizando las mejores dosis aplicadas a los coagulantes químicos y se concluye que, entre los dos coagulantes químicos el más eficiente es el sulfato de aluminio, puesto que presenta una reducción de turbidez mayor que el PAC, así como para los demás parámetros medidos. La eficiencia del sulfato de aluminio frente al PAC es respaldada por Loza [26], quien logró evidenciar que en aguas residuales generadas por la industria pesquera existe una mayor neutralización del pH por parte del sulfato de aluminio, con una disminución mayor del nivel de turbidez en las muestras estudiadas.

El uso de sustancias orgánicas como son los coagulantes naturales empleados en este estudio son de suma importancia ya que además de evitar los daños en el medio ambiente que ocasionan los coagulantes y floculantes inorgánicos, posibilita la recuperación de la materia orgánica hasta en un 98%, pudiéndose reincorporar a la línea de producción de la planta harinera [27]. En concordancia con los datos expuestos en el Cuadro 4, se concluye que el coagulante natural más eficiente es *Aloe Vera*, debido a que el agua tratada con este presentó un menor valor de turbidez final así como la disminución de los demás parámetros medidos en relación al coagulante mucílago de pitahaya. La información presentada es respaldada por Vega [28], quien afirma que el gel de *Aloe vera* y la pitahaya son productos ricos en mucílagos que se caracterizan por estar formados por ácido galacturónico que es el responsable de la acción coagulante de los productos estudiados, el *Aloe vera* en su composición química presenta entre 300-1000 unidades del ácido galacturónico a diferencia del mucilago de pitahaya que presenta entre100-400 unidades del mismo ácido.

Usando los resultados obtenidos se realizó un test de normalidad a través del estadístico Kolmogoro-Smirnov y se comprobó el supuesto de normalidad de los datos, una vez validado el supuesto se realizó un análisis de varianza donde se comprobó que de acuerdo a los resultados obtenidos con un P valor < 0,05 donde se rechaza la hipótesis nula concluyendo que las variables analizadas turbidez, color, sólidos suspendidos, y pH ejercen influencia significativa sobre los efectos evaluados. De este modo el tipo de

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. *CC BY-NC-SA.*

coagulante, la dosis empleada y la interacción coagulante-dosis influyen en el parámetro de remoción de la turbidez.

Cuadro 4. Caracterización fisicoquímica de las aguas de descarga de la empresa productora de harina de pescado luego del tratamiento con los coagulantes y declaración de conformidad con los valores de referencia TULSMA.

Tipo de agua	Turbidez (NTU) (media)	Color (PCU) (media)	Sólidos suspendidos (media)	pH	Oxígeno disuelto (mg /L) (media)	Mejor dosis (mg /L)
Agua tratada (policloruro de aluminio)	1,86	22,33	No medido	6,5	0,35	40
Agua tratada (sulfato de alumínio)	1,51	No medido	No medido	7	0,31	50
Agua tratada (gel de *Aloe Vera*)	281	1370,67	71,67	7	0,31	100
Agua tratada (mucilago de pitahaya)	426,67	2600	127,67	7,2	0,29	90
Valores de referencia según la tabla 8 del libro VI del TULSMA	----------	----------	220	6 A 9	----------	--------
Declaración de conformidad	No contempla	No contempla	Cumple	Cumple	No contempla	No contempla

e. Eficiencia de los coagulantes

Aplicada la fórmula, se obtuvieron los porcentajes de remoción de cada coagulante siendo para policloruro de aluminio, sulfato de aluminio, mucilago de cascara de pitahaya y *Aloe vera*: 99,59%; 99,87%; 62,26% y 75,15% respectivamente, a continuación en la Fig. 6 se muestra la gráfica comparativa entre la turbidez inicial y la turbidez después del tratamiento.

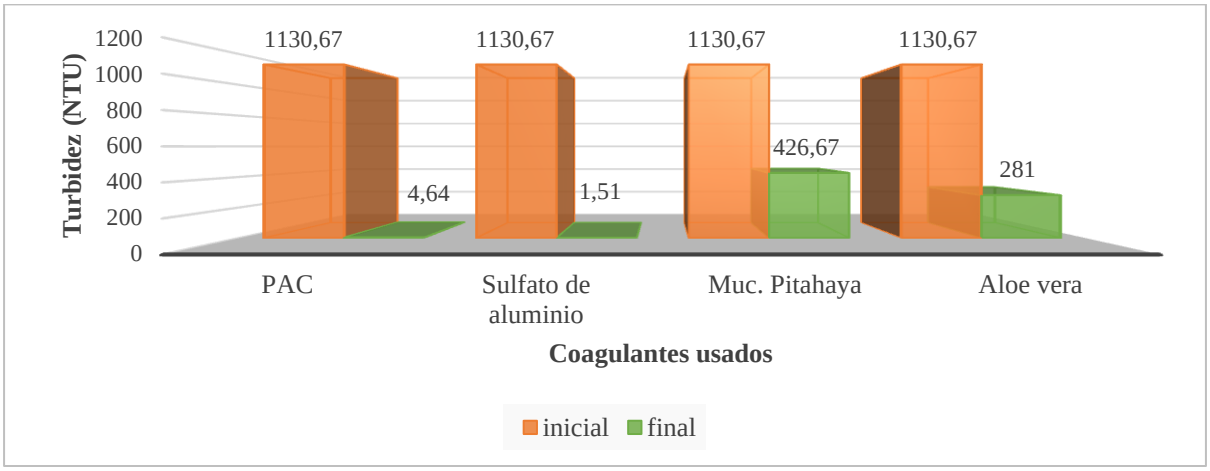


Fig. 6 Gráfica comparativa entre turbidez inicial y turbidez final aplicando las mejores dosis obtenidas para cada uno de los coagulantes.

f. Volumen de sedimentos

Los sedimentos o lodos residuales son los restos semisólidos obtenidos posteriormente al tratamiento del agua residual de cualquier origen, están compuestos por microorganismos patógenos y compuestos

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

no biodegradables probablemente tóxicos [29]. Los lodos residuales se obtuvieron después de la coagulación-floculación pasado el tiempo de sedimentación, en un volumen de un litro se reflejan los siguientes valores: para la mejor dosis de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio se evidenciaron 300 y 250 ml/ L de agua residual, respectivamente; mientras que para los coagulantes gel de *Aloe vera* y mucílago de pitahaya se obtuvieron 200 y 100 ml de lodos/ L de agua residual, respectivamente. No obstante, cuando las sustancias inorgánicas como sales de hierro y aluminio son empleadas en el proceso de tratamiento de este tipo de aguas, el sedimento obtenido presenta un alto grado de toxicidad, lo que impide el aprovechamiento de la materia orgánica sedimentada ya que al retornarla a la línea de producción luego de su adición directa o indirecta en los alimentos puede provocar cáncer a los animales que consumen estas harinas [30].

g. Estudio de costos

Uno de los grandes desafíos que presentan los coagulantes naturales se encuentra la producción a gran escala, debido al alto costo que se genera cuando se implementa la línea productiva [31], considerando los costos de adquisición de los diferentes coagulantes empleados en relación a la cantidad utilizada para tratar cada litro de agua cruda se pudo obtener un presupuesto diario, mensual y anual para los tratamientos (Cuadro 5). Entre los coagulantes químicos el más económico resultó ser el sulfato de aluminio, con un gasto anual de cuatrocientos sesenta dólares con ochenta centavos ($ 460,80), mientras que entre los coagulantes naturales resulto más factible económicamente el gel de *Aloe vera* con un gasto anual de dos mil quinientos veinte dólares ($ 2520).

Cuadro 5. Costos de los coagulantes empleados en el tratamiento de agua cruda por día, mes y año.

Coagulante		Valor unitario (por kg)	Dosis a utilizar (mL)	% de concentración del coagulante	Gasto monetario para producir 100 mL de coagulante	Gasto para tratamiento de 1 L*	Gasto para tratamiento de 1000 L*	Gasto mensual (dólares)	Gasto anual (dólares)
Sintético	Sulfato de aluminio	$0,80	4	40	$0,03	$0,0013	$1,280	$38,4	$460,8
	Policloruro de aluminio	$1,20	5	40	$0,05	$0,0024	$2,400	$72	$864
Natural	Gel de sábila	$1,75	10	40	$0,07	$0,0070	$7,000	$210	$2520
	Cáscara de pitahaya	$2,30	12	40	$0,09	$0,0110	$11,040	$331,2	$3974,4

*Tratamiento de agua de descarga.

En el caso particular de los coagulantes naturales, al no ser comercializados normalmente por una empresa y ser de elaboración propia se tomó en cuenta el costo de la materia prima y los gastos de energía en secado que implican los procesos de producción para luego multiplicarlos por los costos de kW/h estipulados por el gobierno. Esto permitió calcular el costo por kilogramo de biocoagulante, este análisis de costos es respaldado por Morejón [32], quien realizó un trabajo comparativo con el sulfato de aluminio frente al mucílago de tuna para el tratamiento de agua potable y demostró que los coagulantes naturales debido a su elaboración artesanal tienen un costo más elevado en comparación con los coagulantes sintéticos que si tienen implementado un sistema de producción industrial.

Cabe recalcar que, aunque la implementación de un biocoagulante en el proceso de tratamiento de aguas residuales con estas características no es factible económicamente, ambientalmente tiene grandes beneficios como la recirculación de los lodos al agua de bombeo para mejorar la calidad de la harina producida que equivaldría a la recuperación de hasta 283 sacos de 50 Kg cada uno, lo que no se puede

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

hacer con los coagulantes químicos ya que al ser utilizados generan trazas de compuestos cancerígenos en los lodos afectando así la salud de los animales que llegasen a consumir dicho producto [33].

h. Análisis de los coagulantes más eficientes

A continuación, en el Cuadro 6 se presentan los análisis finales realizados tanto al agua de descarga como a las aguas tratadas con los coagulantes más eficientes. Inicialmente el agua de descarga presenta valores de turbidez, color, sólidos suspendidos y Demanda Química de Oxígeno (DQO) elevados con respecto a los valores de referencia que se presentan en la tabla 8 del libro del TULSMA [13], sin embargo, después del tratamiento se presenta una reducción de todos los parámetros, uno de los más importantes es la DQO, que presentó un porcentaje de reducción del 85% aplicando *Aloe vera* y 99% aplicando sulfato de aluminio, esto es respaldado por Dearmas y Ramírez [34], quienes evaluaron la eficiencia del sulfato de aluminio y moringa (*Moringa oleífera*) aplicado a aguas residuales, y verificaron que las mejores dosis obtenidas estaban próximas a los 50 mg/L con valores de DQO de 29,66 para sulfato de aluminio con porcentaje de remoción de 84,71%, aunque no se trata del mismo efluente este presenta características similares a los del agua de estudio, algunos investigadores presentan resultados similares pudiéndose citar así a Ndabigengesere et al. [35], Teixeira [36], entre otros. La DQO evidencia la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica por medios químicos y así poder convertirlas en CO_2 y agua. Cuanto mayor es la DQO, mayor es la contaminación del agua [37].

Cuadro 6. Resultados de los análisis finales a las aguas tratadas con los coagulantes más eficientes y declaración de conformidad con relación a los valores de referencia TULSMA.

Análisis	Límites de descarga al alcantarillado TULSMA tabla 8	Agua cruda	Declaración de conformidad	Agua tratada (gel de Aloe vera)	Declaración de conformidad	Agua tratada (sulfato de aluminio)	Declaración de conformidad
Turbidez (NTU)	----------	1130,67	No contempla	281	No contempla	1,51	No contempla
Color	----------	7589,33	No contempla	1170,66	No contempla	0,5	No contempla
Sólidos Suspendidos	220,0	837,33	No cumple	51,33	Cumple	No medido	Cumple
pH	6-9	7,1	Cumple	7	Cumple	7	Cumple
DQO	500	5395,7	No cumple	839,35	No cumple	18	Cumple

De acuerdo con la norma antes mencionada se establece que para descargas al alcantarillado el límite permisible para DQO es 500 mg O_2/L, lo que demuestra que el coagulante químico sulfato de aluminio está dentro de los límites de descarga, mientras que el coagulante natural gel de Aloe vera no cumple con los requerimientos, el coagulante químico sulfato de aluminio es mucho más eficiente que el coagulante natural gel de Aloe vera e incluso más económico pero se resalta el beneficio medio ambiental y económico al reincorporar los lodos obtenidos al proceso de producción al aplicar el coagulante natural, por otra parte ambos coagulantes cumplieron con los valores permitidos en cuanto a sólidos suspendidos, debido a que la norma no establece límites aceptables con respecto a la turbidez se podría tomar en consideración a los sólidos suspendidos como principal parámetro para comprobar la clarificación del agua tratada, los sólidos suspendidos en el agua tratada con sulfato de aluminio no pudieron ser medidos puesto que estaban en un rango más bajo del que el equipo podía medir.

Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol.16, Nº2, julio-diciembre (2022) 54-68. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

3. Conclusiones

Las industrias productoras de harina de pescado alrededor del mundo se preocupan por reducir el volumen de aguas residuales y en mejorar las características físicas, químicas y biológicas de los efluentes, para su posterior descarga en cuerpos de agua natural o en el alcantarillado público. Esto debido a que las aguas residuales que no reciben un tratamiento adecuado se constituyen en una potencial fuente de contaminación ambiental, afectando directa indirectamente la calidad del recurso hídrico, la salud humana y la seguridad y salud de la biota que compone los ecosistemas. En la presente investigación se determinó que el sulfato de aluminio es un coagulante químico altamente eficiente para el tratamiento de este tipo de aguas ya que logró establecer las características del agua dentro de los límites aceptados por la normativa. En cuanto a los coagulantes naturales, se evidenció la eficiencia del gel de *Aloe vera* que aunque no cumplió con todos los parámetros permitidos se podría concluir que tiene un evidente potencial para el tratamiento de aguas residuales. Los coagulantes mencionados fueron los que obtuvieron mayores porcentajes de remoción en el agua cruda, además de la reducción de los diferentes parámetros, como son color, sólidos suspendidos y DQO al comparar con la normativa de descarga al alcantarillado del TULSMA [13].

A pesar de que los coagulantes naturales se mostraron menos efectivos en comparación con los sintéticos, se puede inferir que presentan propiedades de remoción de turbidez interesantes para este tipo de aguas y que son eficaces, pero no eficientes ya que logran cumplir con el cometido pero no necesariamente con la menor cantidad de recursos posibles. En futuras investigaciones se podría determinar la efectividad que se logra al utilizar el coagulante natural más eficiente ayudado mínimamente por el coagulante sintético que presentó mejores resultados para el uso continuado de los lodos y comprobar si estos reducirían los gastos económicos, y aumentarían su poder de remoción de contaminantes en el agua de descarga.

Referencias

[1] AEMA, E. Agencia europea de medio ambiente, 22 de marzo de 2014. *Control analitico e inspeccion de vertidos*. Aguas Industriales. http://aguasindustriales.es/tag/aguas-residuales-de-harinas-de-pescado/

[2] R. Ahumada, A. Rudolph, S. Contreras, "Evaluation of Coastal Waters Receiving Fish Processing Waste: Lota Bay as a Case Study", *Environmental monitoring and assessment*, vol. 90, no. 1, pp. 89-99, 2004. https://doi.org/10.1023/B:EMAS.0000003568.37287.ac.

[3] C. Pérez, M. Miriam, "Evaluación de parámetros fisicoquímicos de los efluentes industriales de empresas pesqueras de consumo humano indirecto, Bahía de Chancay (2011-2017)", Tesis de pre grado, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú, 2017

[4] V. Sagastegui, "Implementación de sistemas de coagulación-floculación en el tratamiento químico del agua de bombeo, en la empresa pesquera Exalmar S.A.", Tesis magistral, Escuela de posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2019.

[5] D. Choque-Quispe, Y. Choque-Quispe, Yudith, A.M. Solano-Reynoso, B. Ramos Pacheco, "Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua", *Tecnología Química*, vol. *38*, no. 2, pp. 298-309, 2018.

[6] M. Sciban, M. Klasnja, M. Antov, B Skrbic, "Removal of Water Turbidity by Natural Coagulants Obtained from Chestnut and Acorn", *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 24, pp. 6639-6643, 2001. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047

[7] S.J. Carrasquero, S. Montiel Flores, E.D. Faría Perche, P.M. Parra Ferrer, J.C. Marin Leal, A.R.Díaz Montiel, "Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas", *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, vol. *13*, no. 2, pp. 90-99, 2017. https://doi.org/10.18359/rfcb.1941

[8] L.F. Ojeda Báez,"Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del Tropaeolum Tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS" Bachelor's thesis Universidad politécnica salesiana del Ecuador, Quito, Ecuador 2012.

[9] G. Vijayaraghavan, T. Sivakumar, A.Vimal Kumar, "Application of Plant Based Coagulants for Wastewater Treatment", *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, vol. 1, no. 1, pp.188-192, 2011.

[10] S.Y. Choy, K.N. Prasad, T.Y. Wu, M.E. Raghunandan, N. Ramakrishnan, "Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification", *Journal of Environmental Sciences*, vol. 26, no. 11, pp. 2178- 2189, 2014. https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024

[11] O. Vázquez, "Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales", Tesis de Maestría Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 1994.

[12] I. Hespanhol, "Cinética de floculação de suspensões coloidais com polieletrólitos naturais*",* bacherlor's thesis Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1982.

[13] Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente [TULSMA]. *Anexo 1 del Libro VI del TULSMA: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*. Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015.

[14] E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Ed 23. Washington, DC: American public health association, 2017.

[15] M.P. Feijoo, "Pre Diseño del Pre – Sedimentador de la Planta de tratamiento de Agua, en el canton Santo Domingo de los Colorados", Bachelor's thesis Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2018.

[16] Oanh Thi Hoang, Le Nhat Tran, Van Thi Doan, Quang Van Pham, Anh Van Ngo, Huan Huu Nguyen, "Mucilage Extracted from Dragon Fruit Peel (*Hylocereus undatus*) as Flocculant for Treatment of Dye Wastewater by Coagulation and Flocculation Process", *International Journal of Polymer Science*, vol.2020, Article ID 7468343, 2020. https://doi.org/10.1155/2020/7468343

[17] F. Diestra, I.Ramos, "Efectos de la concentracion de *Aloe vera* y tiempo de floculacion en la remocion de sólidos suspendidos y materia organica biodegradable de aguas residuales municipales sector el Cerrillo, Santiago de Chuco", Bachelor's thesis Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Peru, 2019.

[18] J.J. Suárez, G.A. Navia, "Aporte a la utilización de agua termal como coagulante en el tratamiento de las aguas residuales municipales", tesis de especialización Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, 2007.

[19] B. Liu, M. Yang, B. Qi, X. Chen, Z. Su, Y. Wan, "Optimizing L–(+)–lactic acid production by thermophile Lactobacillus plantarum As.1.3 using alternative nitrogen sources with response surface method", *Biochemical Engineering Journal*, vol. 52, no. 2, pp. 212-9, 2010.

[20] X.C. Bermúdez, M.F. Ramírez, A.M. Moya, "Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil desembarco del Granma a escala de laboratorio", *Tecnología química*, vol. *29*, no. 3, pp. 64-73, 2009.

[21] D.M.Arias-Lizárraga, E. Méndez-Gómez, "Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros", *Tecnología y ciencias del agua*, vol. *5* no. 3, pp. 115-123, 2014.

[22] R. Pizarro, S. Reategui, D. Rivera, I. Delmas, "Tratamiento de efluentes líquidos en la industria de harina de pescado", *Revista Peruana de Ingenieria Quimica* , vol. 4, no. 1, pp. 73-78, 2001.

[23] J.S. Figueroa Robalino, "Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguasresiduales del sector Patoa de Izurieta y diseño de medidas de remediación", Bachelor's thesis Universidad Tecnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, 2016.

[24] G. Rondón-Medina, A. Zumaran-Necochea, "Efectos y recuperación de los sistemas analíticos generados en las diferentes etapas del over-treatment en una planta pesquera", tesis de pregrado Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú, 2014.

[25] G. Salas Colotta, "Tratamiento Físico-Químico de aguas residuales de la industria textil", *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 6, no. 2, pp. 64–71, 2003.

[26] R. Loza-Pacheco, "Determinacion de la dosis optima de coagulantes y floculantes aplicados a un sistema continuo por fotacion en el tratamiento de efluentes pesqueros", Tesis de pregrado Universidad Nacional De San Agustin, Arequipa, Peru, 2014.

[27] D.M. Arias-Lizárraga, E. Méndez-Gómez, "Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros", *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 5, no. 3, pp. 115-123, 2014.

[28] A. Vega G, N. Ampuero C, L. Díaz N, Luis, R. Lemus M, "El *Aloe vera* (*Aloe barbadensis miller*) como componente de alimentos funcionales", *Revista chilena de nutrición*, vol. 32, no. 3, pp. 208-214, 2003. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182005000300005

[29] M.L. Ortiz-Hernández, M.E. Gutiérrez-Ruiz, E.Sánchez-Salinas, "Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México". *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, vol. 11, no. 2, pp. 105–115, 2012.

[30] L. Fuentes, W. Contreras, R. Perozo, I. Mendoza, Z. Villegas, "Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda: Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano", *Multiciencias*, vol. 8, pp. 282-283, 2008.

[31] A. Nath, A. Mishra, P.P. Pande, "A review natural polymeric coagulants in wastewater treatment". *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 6113-6117, 2020. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.551

[32] B.J. Morejón Díaz,"Utilización del mucílago de tuna (opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi", Master's thesis. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2017

[33] M.C. Damián Lemache, C.G. Silva Oquendo, "Diseño y construcción de un prototipo de clarificador circular de colchón de lodos para el estudio de eficiencia de los coagulantes obtenidos del exoesqueleto del camarón y el desecho del plátano en función del sulfato de aluminio", Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016.

[34] D.D. Duarte, L.F. Hernández, "Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia". *RIAA*, vol. 6, no. 2, pp.183-196, 2015

[35] A. Ndabigengesere, K.S. Narasiah, B.G. Talbot, "Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera",*Water research*, vol. *29*, no. 2, pp. 703-710. 1995.

[36] P. Teixeira, "Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água", Master tesis de postgrado, Universidad estatal de Campinas, Campinas, Brazil, 2003.

[37] Qiu, J.; Zhang, S.; Zhao, H., "Nanostructured TiO_2 photocatalysts for the determination of organic pollutants", *Hazar. Mater*, vol. 211-212, no. 1, pp. 381-388, 2012.

Como citar:

N.N. Cevallos Coox, G.A Burgos Briones, A. Córdova Mosquera, "Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado," *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, vol 16, no 2, pp. 54-68, 2022. https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt

Fuente de financiamiento

Los autores declaran que la investigación presentada en este artículo no recibió ningún tipo de financiamiento.

Contribuciones intelectuales de los autores

Concepción y diseño del trabajo: NNCC, ACM.
Adquisición, análisis o interpretación de los datos: NNCC
Redacción o revisión crítica del manuscrito: NNCC, GABB, ACM.
Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.