

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA CENTRAL DE SACRIFICIO: USO DEL POLVO DE LA SEMILLA DE LA *M. oleífera* COMO COAGULANTE NATURAL

TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS DE UMA CENTRAL DE ABATIMENTO: UTILIZANDO PÓ DA SEMENTE *M. oleífera* COMO COAGULANTE NATURAL

WASTEWATER TREATMENT FROM SLAUGHTER HOUSE: USING POWDER OF *M. oleífera* AS A NATURAL COAGULANT

ARNOL ARIAS-HOYOS ¹, JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ-MEDINA ²,
ANDRÉS FERNANDO CASTRO-VALENCIA ³, NAZLY EFREDIS SÁNCHEZ-PEÑA⁴

RESUMEN

*Mediante el presente estudio se analizó la eficiencia de la semilla del árbol *M. Oleífera* como sustancia coagulante en tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio. Para ello se realizaron pruebas de coagulación/floculación, en un jar test, adicionando dosis predeterminadas del coagulante de origen natural *M.**

Recibido para evaluación: 30 de Noviembre de 2016. Aprobado para publicación: 1 de Marzo de 2017.

- 1 Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible, Grupo de Investigación Tecnología y Ambiente (GITA). Esp. En Administración de la educación. Popayán, Colombia.
- 2 Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible, Semillero de Manejo Integral del recurso Hídrico (MIRH). Estudiante Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Popayán, Colombia.
- 3 Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible, Semillero de Manejo Integral del recurso Hídrico (MIRH). Estudiante Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Popayán, Colombia.
- 4 Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible, Grupo de Investigación Tecnología y Ambiente (GITA). Ph.D. en Ingeniería Química y Medio Ambiente. Popayán, Colombia.

Correspondencia: arnol.arias.h@uniautonomo.edu.co

Oleífera, que se obtuvo mediante la pulverización de semillas y extracción de su polvo. La muestra de agua residual se tomó a la salida de la central de sacrificio luego del tratamiento preliminar que consta de una rejilla de limpieza manual. En cada ensayo realizado se midió pH, turbiedad, color, temperatura; DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales (SST), Coliformes totales y fecales, antes y después de cada prueba, con el fin de calcular la remoción obtenida. Los resultados más relevantes muestran que, con una aplicación de dosis óptima (7500 mg/L) y una concentración óptima del 5%, se puede lograr una eficiencia de remoción del color y turbidez de aproximadamente 87% y 80%, respectivamente. En este sentido, un aporte importante del trabajo corresponde a nuevas evidencias sobre la ventaja de usar polvo de semilla de M. Oleífera para mejorar las características del agua residual, lo que hasta el momento había sido poco entendido.

ABSTRACT

The present study analyzed the efficiency of the seed of M. Oleífera tree as a coagulant in the treatment of wastewater from slaughter plant. For do this, different coagulation/flocculation tests were conducted in a jar test apparatus, by using defined dose of the natural coagulant. This latter was obtained by grinding of seeds and its powder. The wastewater sample was taken at the end of slaughter plant after the treatment preliminary that consists of a cleaning manual grid. pH, turbidity, color, temperature, BOD₅, DO, total suspended solids (TSS), total and faecal coliforms were measured before and after each test in each trial, in order to calculate the removal efficiency obtained. The most important results show that, a removal of 87% and 80% can be achieved for color and turbidity, respectively, by using an optimal dose of 7500 mg /L and an optimal concentration of 5%. In this regard, an important contribution of this study corresponds to new evidence about the advantage provided by using M. Oleífera seed powder to improve the characteristics of the wastewater, which until now had been little understood.

RESUMO

Através desta pesquisa foi analisada a eficiência da semente M. Oleífera como substancia coagulante no tratamento de águas residuais de uma central de abatimento. Para isto se realizaram testes de coagulação/floculação, num teste de jarras, adicionando doses predeterminadas de coagulante de origem natural M. Oleífera, obtido por médio da pulverização das sementes y da extração do seu pó. A amostra de água residual foi coletada na saída da central de abatimento, logo depois do tratamento preliminar constituído por um ralo de limpeza manual. Cada tratamento foi sometido aos seguintes testes: pH, turbidez, color, temperatura, DBO₅, DQO, sólidos dissolvidos totais (SDT), coliformes totais e fecais, antes e depois de cada teste, com o alvo de calcular a remoção obtida. Os resultados refletiram que com uma aplicação da dose ótima (7500 mg/L) e uma concentração ótima de 5%, pode-se conseguir uma eficiência de remoção de color e turbidez de aproximadamente 87% e 80%, respectivamente. Neste sentido, a pesquisa apresenta um importante aporte de novas evidencias sobre as vantagens aportadas do uso de pó da semente M. Oleífera na melhora das características de água residual, o que até o momento tinha sido pouco estudado.

PALABRAS CLAVE:

Bioadsorbente, Coagulación-Floculación, Matadero Municipal, Remoción.

KEY WORDS:

Bioadsorbent, Coagulation-Flocculation, Municipal Slaughterhouse, Removal.

PALAVRAS CHAVE:

Bioadsorbente, Coagulação-Floculação, Matadouro Municipal, Remoção

INTRODUCCION

El agua es esencial para la vida y necesaria para el desarrollo económico de las poblaciones así como para el mantenimiento del equilibrio medioambiental de los ecosistemas. Aun así, en el presente siglo de grandes avances científicos y tecnológicos, la contaminación de cuerpos de agua por continua descarga de residuos sigue siendo un reto [1]. Esta práctica produce efectos nocivos en la salud humana y más aún si se considera la escasa asistencia técnica adecuada principalmente en los países en vía de desarrollo, lo que contribuye de manera significativa a la degradación del medio ambiente ya sea por problemas estéticos, olor, sedimentación, daño o muerte de los factores bióticos acuáticos [2].

Muchos agentes coagulantes se utilizan en los procesos de tratamiento de agua, los cuales pueden ser clasificados como coagulantes inorgánicos (sales de aluminio y hierro), sintética y polímeros orgánicos naturales (Okuda *et al.* 2001) [3], [4]. Estos últimos o también llamados bioabsorbentes han sido ampliamente estudiados desde la década de los 70, tal como lo muestra (Real-Olvera *et al.* 2015) [5] y (Nharingo, T, Moyo, M., 2016) [6]. El parámetro operacional para determinar la eficiencia de un coagulante son la turbiedad y el color, que mide de manera indirecta la concentración de partículas. La velocidad y la eficiencia del proceso de coagulación-floculación dependen de la composición del agua residual, temperatura, pH y velocidad de mezcla [7].

A pesar de los recientes avances en el estudio de métodos alternativos para el tratamiento de aguas, aún existe la necesidad de llevar a cabo nuevos estudios sobre coagulantes-floculantes efectivos, económicos, inocuos y para remover las altas cargas orgánicas que poseen las aguas residuales, como las generadas en las plantas de tratamiento de la industria cárnica. Como lo menciona en su artículo (Mageshkumar M, 2015) [8], el uso de sales de hierro y aluminio y compuestos sintéticos como coagulantes puede ocasionar cambios en el pH del agua, contaminación secundaria puesto que este tipo de sustancias depositadas en los lodos no son biodegradables y, lo más grave aún, la presencia de residuos de aluminio han sido relacionados con la presencia de la enfermedad del Alzheimer. En este sentido, necesario buscar alternativas que puedan sustituir total o parcialmente las sales de hierro y aluminio y los polímeros orgánicos sintéticos [9].

Los Coagulantes/floculantes naturales constituyen una alternativa viable, es el caso específico de la *M. Oleifera*, que tienen ventajas demostradas sobre los coagulantes químicos como lo menciona en su artículo Real Olvera *et al.* 2015 [5], específicamente en relación a la eficiencia en bioadsorción de contaminantes orgánicos. [10]

La *M. Oleifera* es una planta tropical del género leguminosa que pertenece a la familia *Moringaceae*, orden *Capparidales*, clase *magnoleopsida* [11]. Esta planta es originaria de la India [7], pero se encuentra en otras regiones tropicales [12], es considerada como uno de los árboles más útiles del mundo, por ser tolerante a la sequía, por sus propiedades nutricionales, fertilizante para suelos, medicinal y como coagulantes para el agua [5]. Es un árbol de tamaño pequeño y crecimiento acelerado que usualmente alcanza de 7-12 m de alto y de 20-40 cm de diámetro, las hojas son alternas trilobuladas con una longitud de 30-70 cm [13].

Considerando el contexto descrito anteriormente, el proyecto tuvo como finalidad aportar evidencias sobre la efectividad de semilla de *M. Oleifera* como sustancia coagulante en el proceso de coagulación/floculación de las aguas residuales industriales de una central de una sacrificio, lo cual se estableció aplicando diferentes dosis de coagulante y se evaluó realizando monitoreo de los parámetros físico químicos como pH, color, turbidez, DBO, DQO, SST y Coliformes fecales y totales para poder determinar la dosis óptima y su respectivo porcentaje de remoción de acuerdo a lo establecido por la normatividad ambiental colombiana resolución 0631 de 2015, [24] la cual establece los parámetros y límites permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales. En este sentido, un aporte importante del trabajo corresponde a nuevas evidencias sobre el uso de polvo de semilla de *M. Oleifera* para mejorar las características del agua residual, específicamente de matadero. Hasta nuestro conocimiento, esta aplicación ha sido poco estudiada, lo que se deduce a partir de la escasa información encontrada en literatura.

METÓDO

Para determinar la eficiencia de la semilla moringa, se evaluó el porcentaje de remoción de los parámetros: turbiedad, color, DBO₅, DQO y SST. El trabajo de investigación se basó principalmente en el análisis de test

de jarras (jar-test), lo que permitió simular el proceso de coagulación/floculación, el cual se llevó a cabo en el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. El agua tratada fue tomada de la planta de tratamiento (PTAR) de la central de sacrificio del municipio de Popayán departamento del Cauca y que se encuentra localizada en la comuna 5, barrio las ferias al sur oriente del municipio de Popayán, sector comprendido entre la calle 13C, la carrera 3E, la carrera 2E, y el río ejido con coordenadas geográficas 25°25'51.68" N y 76°36'13.51" O y elevación 1730 msnm. En dicho lugar donde se sacrifican semanalmente un aproximado de 90 animales entre bovinos y porcinos, actualmente esta planta está ubicada en una zona urbana residencial, por lo tanto es la comunidad quien está siendo afectada por los diferentes impactos ambientales generados como lo son presencia de vectores, malos olores constantemente generados por el estiércol y el proceso en sí que se lleva a cabo en la planta, vertimiento de aguas residuales sobre el río ejido que pasa cerca de la planta y deterioro del mismo. Entre las labores que esta planta lleva a cabo, se distinguen varios procesos que constituyen la contaminación de las fuentes receptoras y la generación de vectores, entre ellos: recepción de animales, desangrado, desinfección de maquinaria, lavado de vísceras, lavado de las instalaciones y lavado de vehículos transportadores. Actualmente, la central de sacrificio tiene en funcionamiento una planta de tratamiento tipo FAFA (Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente) la cual recibe este tipo de aguas que se caracterizan por tener comúnmente sangre, estiércol, pelos, huesos, grasas, proteínas y contaminantes solubles [14] además de altas temperaturas, elementos patógenos, altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno. La relación promedio de DQO: DBO5: N es de 12:4:1 [15].

Las muestras de agua fueron tomadas los días de mayor sacrificio de animales y por consiguiente mayor descarga (martes y viernes). El punto de recolección correspondió al efluente de la planta luego de pasar por un tratamiento preliminar que consta de un canal de acceso, una rejilla de limpieza manual y un pozo de bombeo.

Para la determinación de caudal se utilizó el método volumétrico. Debido a que el efluente del proceso no es continuo se tomó una muestra compuesta recolectando alícuotas en un lapso de tres horas hasta llenar totalmente un recipiente plástico de 20 L previamente esterilizado.

Las muestras fueron conservadas (4°C) en un tiempo menor a 1 h después de la campaña de muestreo, esto de acuerdo a lo establecido en el protocolo de toma de muestras, transporte y almacenamiento de aguas residuales industriales del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM) [16]. Las muestras se analizaron el mismo día de su recolección en el laboratorio certificado de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (C.R.C). Para determinar los parámetros fisicoquímicos iniciales se homogenizaron nuevamente las muestras por agitación y se realizó la medición de Turbidez, pH, Temperatura, Color y Alcalinidad, siguiendo los procedimientos establecidos en el método estándar para el análisis de aguas y efluentes (APHA-AWWA-WEF 2005)[17].

Para determinar las condiciones óptimas de la semilla de *M. Oleifera* utilizada como sustancia coagulante en el proceso de coagulación/floculación se realizó una serie de ensayos que se explicarán más adelante.

Extracción del polvo coagulante a partir de semillas de *Moringa oleifera*

Las semillas de *M. Oleifera* fueron adquiridas secas y sin uniformidad de tamaño en la CORPORACION ECOLOGICA AGROGANADERA S.A (CORPOGAN), de la Ciudad de Bogotá D.C. y AGROCOLOMBIANA de la Ciudad de Pasto Nariño. Para la extracción del polvo de las semillas sin pelar de *M. Oleifera*, se utilizó un molino casero hasta obtener partículas finas y tamizadas a través de mallas con baja luz para obtener un polvo fino y de aspecto bastante grasoso. Se recolectó el polvo extraído en bolsas herméticas y posteriormente fueron depositadas en un recipiente seco, estéril y con tapa para evitar la introducción de microorganismos o impurezas del ambiente.

Extracción de la grasa y el aceite. Debido a que la semilla de *M. Oleifera* cuenta con aproximadamente 40 % de su peso en aceites y grasas [18], los cuales no poseen propiedades coagulantes y al contrario deja un residual lipídico en el agua, se debe hacer una extracción de este contenido. Este procedimiento debe evitar la pérdida de proteína, el principal causante del mecanismo de coagulación, que corresponde al 60 % (Bichi, M. H et. al, 2012), [19]. En este sentido, se procedió a extraer la mayor cantidad de aceite lo que se hizo en dos procesos, a saber: por prensado y por disolución en alcohol etílico (Etanol al 95%). El presente estudio realizó dicho procedimiento usando etanol,

para ello, se agregó 50 g de polvo de *M. Oleífera* a 200 ml de Etanol, esta solución se removió durante 2 min con un agitador magnético a 1300 rpm, la solución resultante fue filtrada al vacío con papel filtro, se repitió el mismo proceso cinco veces con el fin de extraer la mayor cantidad de aceite. Posteriormente la torta de *M. Oleífera* residual se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 h.

Obtención del coagulante de *Moringa oleífera*.

A continuación se explicará la preparación de la solución madre de *M. Oleífera* usada en los experimentos.

Inicialmente se preparó una solución de cloruro de sodio (NaCl) 5M. Esta solución se mezcló durante 20 min con un agitador magnético a 200 rpm para homogenizar la distribución de la sal. Seguidamente, se añadió 50 g del polvo de *M. Oleífera* en un litro de la solución de NaCl y se mezcló durante 10 min con un agitador magnético a 60 rpm. La solución resultante fue filtrada en papel filtro, marca FILTRAK, con tamaños de poro de alrededor de 15 μ m. Así se obtuvo la solución madre del extracto de la *M. Oleífera* con NaCl al 5 %, detalles adicionales del procedimiento se encuentran en (Okuda *et al.* 2001), [3]. Se recomienda mantener esta solución en refrigeración y por un periodo no superior a un mes, debido a que pueden perder su efectividad (Chethana M., 2016), [20].

Dicho protocolo permite la extracción del componente activo de la *M. Oleífera* pues el cloruro de sodio hace que la proteína catiónica que compone el coagulante de *M. Oleífera* se vuelva más soluble en el agua turbia. Esto provoca que exista mayor contacto con las partículas presentes en el agua lo que potencializa el coagulante según (Abdul, H. S,H; *et al*), [21].

Prueba de Jarras

Para determinar las condiciones óptimas de la semilla de *M. Oleífera* utilizada como sustancia coagulante se realizó una serie de 10 ensayos de coagulación/floculación. Se determinó el color y turbidez de la muestra inicial para lo que fue necesario realizar una dilución en relación 1:100 para color y 1:4 para turbidez, obteniendo como resultado 34500 Pt/Co y 1144 NTU respectivamente. Posteriormente, se procedió a realizar la prueba de jarras utilizando 1 L de agua residual de la central de sacrificio. Para ello, cada muestra se sometió a una mezcla rápida de 200 rpm durante 60 segundos, en este lapso de tiempo se le adiciono el coagulante según las dosis estableci-

das (10, 20, 40, 60, 80,100, 110, 150 y 200 ml/L las cuales equivalen a 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 5500, 7500, 10000 mg/L respectivamente), dosis que evolucionaron positivamente al realizar la mezcla puesto no presentaron ninguna reacción adversa que hubiese podido influir en los resultados obtenidos, luego se redujo la velocidad a una mezcla lenta de 45 rpm por un periodo de 10 min. Transcurrido este tiempo, se dejó sedimentar por un periodo de 20 min [20]. Finalmente, se tomó una muestra a 4 cm de profundidad desde la superficie en cada jarra y se determinó la turbiedad y color. Una vez encontrada la Dosis preliminar óptima, se dejó constante este valor y se empezó a variar las concentraciones del coagulante (5% -10% -15% -20% - 25% - 30% y 40%) teniendo en cuenta el mismo procedimiento descrito anteriormente para Gradientes Hidráulicos de mezcla rápida y mezcla lenta y sus respectivos tiempos de reacción, Tiempo de Sedimentación y pH [20,30].

Luego de encontrar las condiciones óptimas de la semilla *M. Oleífera* como sustancia coagulante en el proceso de coagulación/floculación se llevó a cabo la evaluación de la eficiencia de la semilla de *M. Oleífera* en la remoción de DBO₅, DQO, SST, Coliformes totales y fecales, el cual se realizó mediante el proceso estándar del test de jarras. Las muestras se analizaron en el laboratorio acreditado de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC).

RESULTADOS

Pruebas de estandarización de dosis optima

De acuerdo a los datos obtenidos después de realizar los ensayos por el procedimiento test de jarras se puede inferir que el rendimiento obtenido en cada uno de los tratamientos donde se utilizó la *M. Oleífera*, disminuye la turbidez y color inicial como se puede observar en el Cuadro 1.

Las mejores dosis encontradas para el tratamiento de agua que presentaban una turbidez inicial de 1144 NTU y color de 34500 Pt/Co fue en las "jarra s 8 y 9" con remoción del 73 y 74% respectivamente, con una dosificación optima de 7500 y 10000 mg/L de solución coagulante, lo que se muestra claramente en las Figuras 1 y 2.

Se seleccionó la dosis óptima como 7500 mg/L (150 ml), debido a la relación eficiencia en remoción vs cantidad de coagulante, intentando disminuir los costos económico y a su vez optimización de la solución coagulante

Cuadro 1. Resultados de remoción de la prueba de test de jarras

Jarras	Parámetros					
	Dosis (mg/L)	Dosis ml	Turbidez residual (NTU)	% de remoción	Color Pt/Co	% de remoción
1	500	10	868	24	30700	11
2	1000	20	724	37	25800	25
3	2000	40	860	25	26200	24
4	3000	60	740	35	31500	9
5	4000	80	840	27	25800	25
6	5000	100	832	27	22200	36
7	5500	110	452	60	27500	20
8	7500	150	309	73	21300	38
9	10000	200	303	74	17000	51

Figura 1. Relación de la dosis de coagulante vs la turbidez luego de la prueba de jarras

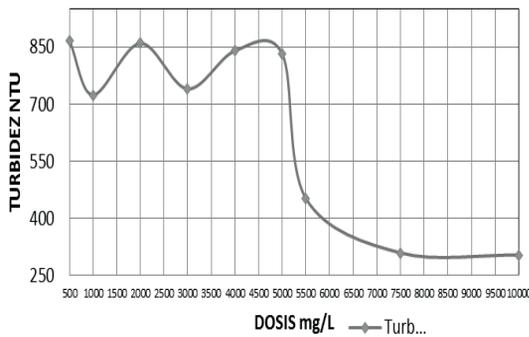
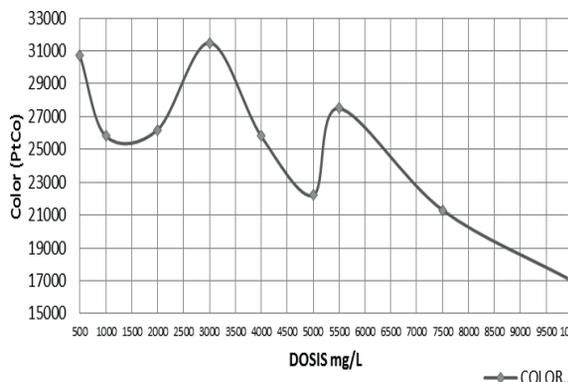


Figura 2. Variación de Color en la prueba de jarras vs dosis de *Moringa Oleifera*



Definición de la concentración óptima

Respecto a la concentración se pudo inferir que la turbidez más baja se obtiene donde se aplicó la dosis de 7500 mg/L (150 mL) a una concentración del 5%, con una remoción de turbidez entre el 19 al 21 % como se observa en el Cuadro 2, se evidencia que no necesariamente a mayor concentración de solución coagulante se da un mayor nivel de remoción en la turbidez.

Parámetros óptimos

Las condiciones óptimas de la semilla *M. Oleifera* utilizada como sustancia coagulante en el proceso de coagulación/floculación para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una planta de sacrificio animal se pueden observar en el Cuadro 3.

En cuanto a los Gradientes de mezcla rápida el mejor comportamiento para la disminución de turbidez y donde se da la desestabilización de partículas coloidales es el gradiente de 200 rpm, con tiempos de retención de 60 y 120 s y remociones de 44,9% y 45.3%, respectivamente.

Debido a que no hay diferencias significativas en los porcentajes de remoción para cada tiempo se decidió tomar 60 s como el tiempo de mezcla rápida ideal pensando en que serán de gran importancia para la reducción de costos durante el proceso al ser aplicado a escala real.

Para los Gradientes de Mezcla lenta el mejor comportamiento para la disminución de turbidez es el gradiente de 30 rpm, con un tiempo de retención de 45 min.

Cuadro 2. Resultados de Remoción de la prueba de jarras

Jarras	Parámetros			Replica	
	Concen-tración %	Turbidez resi-dual (NTU)	% de Remoción	Turbidez resi-dual (NTU)	% de Remo-ción
1	5	1100	19	1070	21
2	10	1112	18	1190	12
3	15	1156	15	1230	9
4	20	1140	16	1285	5
5	25	1265	7	X	x
6	30	1310	3	X	X
7	40	1250	8	x	X

Cuadro 3. Condiciones óptimas de la Semilla *M.O* como Sustancia Coagulante.

Parámetros	Parámetros optimizados	Turbidez inicial	Turbidez final	% de Remoción
Dosis (mg/l)	7500	1144	309	73
Concentración (%)	5	1356	1100	19
GMR (rpm) Y TMR (seg)	200 – 60	1068	596	44
GML (rpm) Y TML (min)	30 – 45	1212	696	43
Tiempo de sedimentación (min)	20	1372	816	41
pH	≥ 8,4	1192	232,4	81

GMR: Gradiente mezcla rápida, GML: Gradiente mezcla lenta, TMR: tiempo de mezcla rápida, TML: tiempo mezcla lenta.

El tiempo óptimo donde se lleva a cabo la mejor precipitación y sedimentación de partículas y por tanto mejor remoción de turbidez es 20 min.

Para la optimización de pH se evidencia que éste valor no presentó una variación apreciable, se mantuvo relativamente estable después de realizar el tratamiento. Este hecho implica que la aplicación directa de coagulante de *M. Oleifera* en una planta de tratamiento no aporta costos adicionales al proceso para corregir el pH del agua, como suele pasar al utilizar coagulantes químicos (Mageshkumar M, 2015), [8].

A pesar de que la *M. Oleifera* no modifica el pH después del test de jarras, si mejora su capacidad de remover color y turbidez a pH alcalinos, como se aprecia en la Figura 3 y 4.

El aumento del pH $\geq 8,4$ presentó mejores resultados, se alcanzó valores de 70 a 85 % de remoción en turbidez y color, respectivamente, contrario a lo encontrado por (Chethana M. *et al.*, 2016), [20], quienes trabajaron con aguas residuales domesticas de menor carga contaminante y determinaron que en rangos de pH ácidos los porcentajes de remoción son mejores, lo anterior debido a la presencia posiblemente de polímeros no iónicos [20]. A partir de esto se puede concluir que la coagulación con semillas de *M. Oleifera*, en el presente estudio, no es controlada por fuerzas

Figura 3. Variación de Turbidez contra pH

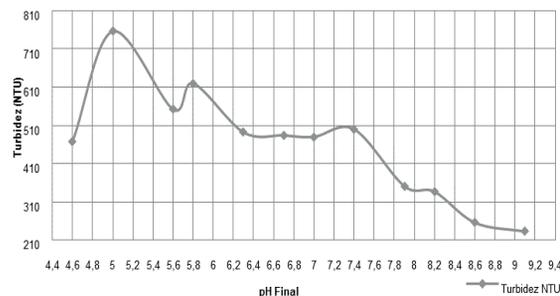
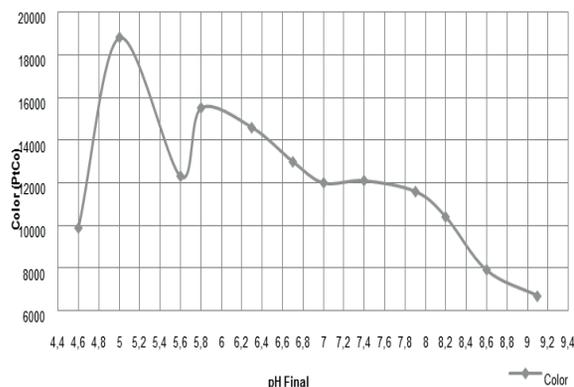


Figura 4. Variación de Color contra pH



electrostáticas, lo que lleva a sugerir que el mecanismo de coagulación sea el de adsorción y formación de puentes [20], así las cosas, sería más apropiado llamar a la moringa como bioadsorbente más que coagulante como se hace comúnmente en literatura encontrada respecto a este tema.

Autores como Ndabigengesere *et al.*, (1995) [22] verificaron con medidas del potencial Zeta que los mecanismos de coagulación más probables con la utilización de las semillas de *M. Oleifera* son los de adsorción -neutralización de cargas y adsorción y formación de puentes (Carvalho Bongiovany, M; *et al*) [23], pudiendo incluso ocurrir de forma simultánea. Esto corrobora los resultados del presente estudio.

Pruebas de eficiencia

Luego de encontrar las condiciones óptimas de la semilla *M. Oleifera* como sustancia coagulante en el proceso de coagulación/floculación se llevó a cabo la evaluación de su eficiencia en la remoción de DBO₅, DQO, SST, Coliformes totales y fecales, usando el proceso estándar de prueba de jarras, los resultados de las pruebas iniciales y los

resultados de la prueba de eficiencia se presentan en el Cuadro 4 y 5 respectivamente.

Cuadro 4. Pruebas de Eficiencia - Parámetros iniciales.

Muestras	Parámetros in situ				
	Turbidez (NTU)	Color (Pt/Co)	pH	Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	Temperatura (°C)
1	202	10500	7,5	19,7	22
2	1152	34800	7,7	88,5	22
3	1004	31900	7,6	60,6	20
4	964	14700	8,2	36,85	20
5	1912	36000	7,5	79,25	22

De acuerdo a lo anterior se puede observar que a todas las muestras a las cuales se les aplicó el trata-

miento, es decir la sustancia coagulante obtenida de la semilla *M. Oleifera* mostraron una mayor remoción residual de los parámetros físicos y químicos, aunque no alcanzaron los valores límites máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público dictados por la resolución 0631 de 2015, [24] que exige al menos una remoción de la carga contaminante del 80% para DBO₅, DQO y SST. El uso de esta semilla como coagulante sería una alternativa que brinda mejoras sobre procesos de tratamientos de aguas residuales [27]; es una tecnología de bajo costo, al igual que un método efectivo y de fácil manejo para depurar aguas contaminadas [19, 26]

En el Cuadro 5 se puede observar que de las 5 pruebas realizadas, en la muestra 2 y 8 se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción para turbidez y color con un porcentaje de remoción de 85%, y 86,7% respectivamente, siendo esto una constante en diferentes estudios, como el realizado por Petersen H. *et al*, 2016

Cuadro 5. Resultados obtenidos prueba de eficiencia con y sin tratamiento

Variable	Método	Unidad	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5	
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Turbidez		NTU	73	31	804	508	512	440	461	128	1100	608
Color		Pt/Co	6800	700	23400	14460	21300	12900	13100	4788	31400	20500
DBO ₅	SM5 210B/ SM4 500-OG	mg/L	2037	1620	4300	3221	9180	4110	2940	1707	3120	2884
DQO	SM5 220D Mod	mg/L	5143	3695	3980	6998	22830	11545	7500	5706	9825	8920
SST	SM25 40D	mg/L	509	408	1920	1120	1700	1300	453	520	2300	2633
Coliformes Totales	SM 9223 B	UFC/100 mL (10E+07)	8,1E+07	4,7E+07	6,1E+08	3,2E+07	1,9E+09	5,7E+07	6,7E+08	2,5E+07	8,9E+08	4,4E+07
Coliformes Fecales	SM 9223 B	UFC/100 mL (10E+07)	2,0E+07	1,3E+07	9,7E+07	8,5E+06	4,6E+08	2,6E+07	2,5E+08	3,7E+06	3,2E+08	2,0E+07
% Remoción de Color			64	85	30	56	49	56	52	86	43	68
% de Remoción de Turbidez			35	93	33	58	33	60	11	67	13	43
sin tratamiento			con tratamiento									

[25], quien en al utilizar la misma semilla en tratamiento de aguas residuales logro obtener altos porcentajes de remoción en turbidez; mientras removió el color desde 14700 y 10500 Pt/Co a valores mínimos de 4788 y 700 Pt/Co, alcanzando porcentajes de remoción de 67,4% y 93% respectivamente. La alcalinidad en estas muestras fue baja, lo que influye directamente en la coagulación de los contaminantes.

A partir de estos resultados se demuestra que el polvo de *M. Oleifera* resulta ser un buen coagulante para remover principalmente color y turbidez en las aguas residuales industriales de matadero, lo que corrobora resultados obtenidos en otros estudios realizados por autores como Freitas, JS; *et al* (2016) [26], en donde se trabajó con aguas fuertemente contaminadas logrando una alta reducción en la turbidez y toxicidad reportada inicialmente. La reducción de químicos en los vertimientos, mejora la calidad ambiental, la calidad de vida y las condiciones sanitarias de las comunidades aguas abajo y por último aumenta la vida útil de la central de sacrificio evidenciándose una mejora en la economía de la empresa.

Según los resultados obtenidos en las pruebas de eficiencia reportados en el Cuadro 6, en términos generales se evidencia remoción y abatimiento de todos los parámetros establecidos para este estudio, obteniendo unos porcentajes para DBO₅ del 55,2%, DQO de 49,4%, SST de 41,7%, siendo estos resultados similares a los obtenidos por Lagasi, J.E. *et al* (2014) [28] quien trabajo con aguas residuales de matadero logrando altos porcentajes de remoción con la semilla *M. Oleifera*, por otra parte se observa que los resultados para Coliformes Totales y Fecales fueron los de mayor relevancia con unos porcentajes de 96,3 y 98,5% respectivamente, lo cual coincide con lo reportado por Shan, T.C. *et. al* (2016) [29], quien realizó un estudio con las aguas del río "Sungai Baluk" en Malasia y obtuvo una alta eficiencia en la reducción y prevención del crecimiento bacteriano. La *M. Oleifera* como coagulante muestra una reducción ligeramente visible en la cantidad de partículas en suspensión con un porcentaje que oscila entre 20-41,7% de remoción. Desde el punto de vista de la estadística descriptiva la desviación estándar fue un poca alta, presentando valores que oscilan entre 14 y 27 mg/, esto se debe a que a pesar de que la muestra de agua residual se colectaba en el mismo punto, los altos valores de carga contaminante y características organolépticas cada día eran diferentes, puesto que dependía de la cantidad y tipo de ganado se sacrificaran por día.

Cuadro 6. Variación del Porcentaje de Remoción

Número de Pruebas	Porcentaje (%) de remoción				
	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes Totales UFC/100mL	Coliformes Totales UFC/100mL
1	20,5	28,2	19,8	42	35
2	25,1	22,1	41,7	94,8	91,2
3	55,2	49,1	23,5	97	94,3
4	41,9	23,9	14,8	96,3	98,5
5	7,6	9,2	14,5	95,1	93,8
δ	19	14	25	24	27

δ=Desviación Estándar

En este sentido, se puede afirmar que dados los presentes resultados, La *M. Oleifera* resulta un coagulante efectivo en tratamiento de agua de matadero y es una posible alternativa, ya que no deja residuos tóxicos en el agua tratada que pudieran afectar el organismo, dado su origen vegetal [29] y disminuye gran parte de los contaminantes orgánicos presentes en el agua mediante procesos de adsorción. La metodología aquí planteada se puede aplicar en las diferentes áreas rurales o centrales de sacrificio donde no cuenten con plantas de tratamiento o con la tecnología ni la economía adecuada para dichos procesos y que pretendan tener una mejor calidad del agua en sus vertidos al cuerpo receptor, los cuales actualmente representan un gran problema ambiental. Se debe tener en cuenta que la utilización y aplicación de coagulantes de tipos sintéticos o químicos no son rentables ni económicos en volúmenes bajos (baja carga contaminante) [26], restringiendo en estas pequeñas empresas el servicio de tratamiento. No obstante, se recomienda usar este método junto con otros para lograr una mayor eficiencia de remoción y cumplir con la legislación sobre vertimientos para Colombia resolución 0631 de 2015 [24]. Además es necesario realizar un estudio a los lodos que se produce durante el tratamiento de agua utilizando como coagulante la semilla de *M. Oleifera* para así poder determinar qué ventaja, proceso o usos se le pueden hacer a este tipo de residuo sólido, teniendo en cuenta que es una materia prima orgánica y con baja presencia de Coliformes fecales debido a la alta remoción de este parámetro [29], una opción sería elaborar compost.

La purificación de aguas residuales industriales provenientes de plantas de sacrificio de las grandes metrópolis con *M. Oleifera*, debido a su alto contenido de

contaminantes y a los altos caudales que maneja en sus procesos, y por el poco conocimiento que se tiene de la misma viene siendo un poco costosa comparada con los coagulantes químicos, pero conociendo que la utilización de coagulantes químicos tienen una relación estrecha con la enfermedad del Alzheimer poco estudiada aun, pero cierta [9], es aconsejable empezar a utilizar estos métodos naturales.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos utilizando la semillas de *M. Oleifera* como coagulante en el tratamiento de las aguas residuales de la central de sacrificio comprueban la eficiencia en remoción de turbidez y color, dado que se obtuvo con una remoción de turbidez de 86,7% y de color de 93%; lo que demuestra una posibilidad para la aplicación de este coagulante natural a las aguas residuales provenientes de una planta de sacrificio animal.

Se determinó que la *M. Oleifera* disminuye los parámetros DBO₅, DQO, SST, Coliformes Totales y Fecales, alcanzando porcentajes mayores al 90% en remoción de Coliformes Totales y Fecales, y porcentajes entre 20 y 60 % para el resto de contaminantes, aunque no se obtuvieron los valores límites máximos permisibles de todos los contaminantes en cuestión para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público dictados por la Normatividad Colombiana actual vigente como lo es la resolución 0631 de 2015, la utilización de esta semilla como coagulante viene siendo un método efectivo para utilizarlo como complemento para estos procesos y más aún para lugares donde no cuentan con la tecnología ni la economía adecuada para dichos procesos.

Uno de los aspectos importantes que tiene la *M. Oleifera* como sustancia coagulante es que se puede aplicar directamente en una planta de tratamiento de agua residual, sin necesidad de corregir o ajustar el pH del agua durante el proceso de coagulación/floculación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la central de sacrificio de la ciudad de Popayán, Departamento del Cauca, por permitir el ingreso a sus instalaciones y colaborar con el desarrollo de esta investigación, como también a la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca quien apoyó eco-

nómicamente para que se ejecutara este proyecto enmarcado en las convocatorias internas de investigación. Adicionalmente se agradece al Sistema General de Regalías (SGR), proyecto Innovación Cauca y a Universidad del Cauca, por su apoyo en la publicación del presente estudio.

REFERENCIAS

- [1] VILABRILLE, F. "El Agua, el recurso más importante para la vida". [on line]. 2012. Disponible: <http://blogs.periodistadigital.com/faustino-vilabrille.php/2012/09/29/el-agua-el-recurso-mas-importante-para-i>. [Citado 8 de Noviembre de 2015].
- [2] CIAPACOV, "La falta de agua". [on line]. 2015. Disponible: <http://ciapacov.gob.mx/Cultura/Falta-deAgua.php>. [Citado 10 de Noviembre de 2015.]
- [3] OKUDA, T; *et al.* Insolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research*, 35, 2001, p. 405–410.
- [4] DE PAULA, H., SANGOI DE OLIVEIRA, M., and ANDRADE, S.L. Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and *Moringa oleifera* powder. *Journal of Cleaner Production*, Volume 76(1), 2014, p. 125-130
- [5] REAL-OLVERA, J. *et al.* Adsorption of organic pollutants from slaughterhouse wastewater using powder of *Moringa oleifera* seeds as a natural coagulant. *Desalination and Water Treatment*, 57(21), 2015, p. 9971-9981
- [6] NHARINGO, T. and MOYO, M. Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. *Journal of Environmental Management*. 166, 2016, p 55-72.
- [7] FERIA D, J.J., BERMUDEZ, R, S., y ESTRADA T, A. M. Eficiencia de la semilla *Moringa Oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Revista Producción más Limpia*, 9 (1), 2014, p. 9-22.
- [8] MARICHAMY, & RAMASAMY. Modelling the kinetics of coagulation process for tannery industry effluent treatment using *Moringa oleifera* seeds protein. *Desalination and Water Treatment*, 57(32), 2015, p. 14954-14964
- [9] PEREIRA, C.F., *et al.* The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 313, 2017, p. 226-237
- [10] KATAYON, S. *et al.* Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in

- coagulation. *Bioresource Technology*. 97, 2006, p. 1455–1460.
- [11] FORMENTINI-SCHMITT, D. *et al.* Ultrafiltration Combined with Coagulation/Flocculation/Sedimentation Using *Moringa oleifera* as Coagulant to Treat Dairy Industry Wastewater, *Water, Air & Soil Pollution*, 224(9), 2013, p 1-10
- [12] VILLARREAL, G. Al., Y ORTEGA, K.J. Revisión de las características y usos de la planta *Moringa oleifera*. *Revista investigación y desarrollo*, 22 (2), 2014, p. 309-330.
- [13] BHATIA, S., OTHMAN, Z., and AHMAD, A. L., Pre-treatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, 145, 2007, p. 120–126.
- [14] MATOS, E.; *et al.* Evaluación de la eficiencia de un reactor por carga secuencial tratando aguas residuales provenientes de un matadero de reses. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 29 (3), 2014, p. 7-16.
- [15] CARRASQUERO S.J.; *et al.* Nutrients removal from slaughterhouse wastewater using a sequencing batch reactor. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (2), 2015, p. 43-60,
- [16] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. Protocolo para toma de muestras de aguas residuales. [Online], 2016. Disponible: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428. [06/06/2016].
- [17] APHA, AWWA & WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21 st ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2005.
- [18] GARCIA, F. B. *et al.* *Moringa oleifera* for drinking water treatment: influence of the solvent and method used in oil-extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. *Journal Desalination and Water Treatment*, 57, 2016, p 5-8
- [19] BICHI, M. H. *et al.* Effect of Extraction Method on the Antimicrobial Activity of *Moringa Oleifera* Seeds Extract; *Journal of American Science*, 8(9), 2012.
- [20] CHETHANA M. *et al.* Green approach to Dye Wastewater Treatment using Biocoagulants. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 138(12), 2016, p. 14954-14964
- [21] ABDUL, H.S.H. *et al.* A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bio-flocculation. *Challenges in Environmental Science and Engineering*, 113, 2016, p. 310-317
- [22] NDABIGENGESERE A. NARASIAH, K.S. and B.G. TALBOT. Active Agents and Mechanism of Coagulation of Turbid Waters Using *Moringa oleifera*. *Water Research*, 29 (2), 1995. p. 703-710.
- [23] CARVALHO BONGIOVANI, M. *et al.* Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of *Moringa oleifera* lam with anionic polymer in water treatment. *Environmental Technology*, 35(17), 2014, p. 2227 – 2236.
- [24] COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, MAVDT. Resolución 0631 de 2015. Parámetros y límites permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales. Bogotá (Colombia): 2015
- [25] PETERSEN, H. H. *et al.* Wastewater treatment with *Moringa oleifera* seed extract: Impact on turbidity and sedimentation of *Cryptosporidium parvum* oocysts. 5th International Giarda and Cryptosporidium Conference - Uppsala, Sweden, 2014, p 1.
- [26] FREITAS, JS. *et al.* Evaluation of using aluminium sulfate and water- soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. *Chemosphere*, 163, 2016, p 133-141.
- [27] CHEN, Y. *et al.* Effects of Al-coagulant sludge characteristics on the efficiency of coagulants recovery by acidification. *Environmental Technology*, 33(22), 2012, p 2525 -2530.
- [28] LAGASI, J.E., AGUNWAMBA, J.C., and AHO, M. Comparative studies on the use of ordinary and De-Oiled *Moringa Oleifera* in the treatment of abattoir wastewater. *The International Journal of Engineering and Science*, 3(2), 2014, p. 1-7.
- [29] SHAN, T.C., MATAR, M.A., MAKKY, E.A., *et al.* The use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant for wastewater tretment and heavy metals removal. *Appl water sci.*, 2016, p.1-7
- [30] RESTREPO, O.H. Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia [Online]. 2009. Disponible: http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf [citado 10 noviembre de 2015]