

DOI:10.18684/BSAA(14)100-109

# EFFECTO DE LA *Moringa oleifera* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAUCA, COLOMBIA

## *Moringa oleifera* EFFECT IN THE SEWAGE WATER TREATMENT IN CAUCA, COLOMBIA

## *Moringa oleifera* EFFECT NO TRATAMIENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM CAUCA, COLÔMBIA

CARLOS FERNANDO MERA- ALEGRIA<sup>1</sup>, MADELEINE LIESET GUTIÉRREZ- SALAMANCA<sup>1</sup>,  
CONSUELO MONTES- ROJAS<sup>2</sup>, JUAN PABLO PAZ- CONCHA<sup>2</sup>

### RESUMEN

*Se evaluó el efecto del polvo de semilla de moringa como coagulante y floculante natural en el tratamiento de aguas residuales, se utilizaron aguas resultantes del proceso de beneficio de café con turbidez mayor a 2000 Unidades Nefelométricas de turbidez (UNT) y aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 91,5 UNT. Los tratamientos se realizaron empleando el test de jarras a 130 revoluciones/minuto a temperatura de 21,5°C con tiempo de agitación de 30 minutos para aguas residuales de beneficio de café y 15 minutos para aguas de pelado químico de vegetales. Para determinar calidad del agua se evaluó: turbidez, pH, conductividad eléctrica, cloruros, sólidos suspendidos, coliformes totales y fecales del sobrenadante; se efectuó la comparación con sulfato de aluminio utilizando la misma dosificación, los resultados indican que empleando 4 g/600 mL de agua residual de beneficio de café se obtuvo una eficiencia del 80,9% y 73,5% con polvo de semilla de moringa y sulfato de aluminio respectivamente y empleando 0,15 g/600 mL de agua del pelado químico de vegetales se tuvo una eficiencia del 66,75% con moringa y con el sulfato de aluminio de 63,5%; estableciendo que el polvo de semilla de moringa es más efectivo en mejorar los diferentes parámetros establecidos en la investigación.*

**Recibido para evaluación:** 23 de Octubre de 2015. **Aprobado para publicación:** 10 de Marzo de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingenieros Agropecuarios. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural (Tull). M Sc. Profesores de planta. Popayán, Colombia.

**Correspondencia:** cmontesr@unicauca.edu.co

## ABSTRACT

*Effect moringa seed powder and natural flocculant and coagulant in sewage treatment, it was assessed process waters resulting coffee mill were used more than 2000 NTU turbidity and water from the chemical peeling vegetables 91,5 Nephelometric turbidity units (UNT). Treatments were performed using the test jar at 130 revolutions/minute at 21,5°C temperature with agitation time of 30 minutes to wastewater coffee mill waters and 15 minutes for chemical peeling vegetables. To determine water quality was evaluated: turbidity, pH, electrical conductivity, chlorides, suspended solids, total coliforms and fecal supernatant; comparison with aluminum sulfate using the same dosing was performed, the results indicate that using 4 g/600 mL of wastewater coffee processing efficiency of 80,9% and 73,5% was obtained with moringa seed powder and sulfate using aluminum respectively and 0,15 g/600 mL water chemical peeling vegetable efficiency of 66,75% with Moringa had and aluminum sulfate 63,5%; stating that the moringa seed powder is more effective in improving the various parameters established in the investigation.*

## RESUMO

*Foi avaliado o efeito de Moringa pó de semente como um coagulante e o floculante natural no tratamento das águas residuais das águas resultantes do processo de enriquecimento de café foram utilizados mais do que 2000 Unidades Nefelométricas de Turvação (NTU) e água da química da casca turbidez vegetais com 91,5 NTU. Os tratamentos foram realizados utilizando o frasco de teste a 130 rotações / minuto, a temperatura de 21,5 ° C com tempo de agitação de 30 minutos para o moinho de café e de águas residuais 15 minutos para químico das águas vegetais da casca. Para determinar a qualidade da água foi avaliada: turbidez, pH, condutividade elétrica, cloretos, sólidos em suspensão, total e coliformes fecais sobrenadante; comparação com o sulfato de alumínio, utilizando a mesma dosagem foi realizada, os resultados indicam que a utilização de 4 g / 600 ml de águas residuais de processamento de café eficiência de 80,9% e 73,5%, foi obtida com pó de semente de Moringa e sulfato de alumínio, respectivamente, e empregando 0,15 g 600 mL de água química descascar eficiência / vegetais de 66,75%, com moringa e sulfato de alumínio de 63,5% foi tomada; afirmando que o pó de semente de moringa é mais eficaz na melhoria dos diversos parâmetros estabelecidos no inquérito.*

## INTRODUCCIÓN

Según Banki-moon, Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el 70% del agua es utilizada por el sector agropecuario en diferentes actividades lo que presume una mayor contaminación en sus vertimientos y la consecuente afectación de la calidad de vida vegetal, animal y humana [1].

Un cultivo de importancia en Colombia que en su mayoría no cuentan con un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales es el cultivo de café, donde el 64% de los productores son minifundistas [2] los cuales

## PALABRAS CLAVE:

Semilla, Beneficio de café, Residuos vegetales, Floculante, Coagulante.

## KEYWORDS:

Seed, Coffee, Vegetable waste, Waste water, Flocculant.

## PALAVRAS-CHAVE:

café Semente Benefit, resíduos vegetais, floculantes, coagulantes.

están causando un impacto ambiental negativo sobre el ecosistema. De otra parte, el sector agroindustrial esta aumentado significativamente, provocando una mayor contaminación debido al proceso y manejo de los residuos industriales que están poniendo en peligro los recursos hídricos, dañando y destruyendo los ecosistemas del mundo entero [3].

Entre los diferentes compuestos químicos que se utilizan comúnmente en el tratamiento de aguas residuales está el sulfato de aluminio, el cual ha demostrado ser un buen coagulante y floculante en cuanto a la remoción de turbidez. Pero es de anotar que el aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser nocivo para la salud ya que afecta gravemente el sistema nervioso central [4].

Por lo anterior es preciso implementar nuevas alternativas que permitan el proceso de potabilización de agua sin generar daños al medio ambiente y a los seres que de ella se benefician; esta investigación se realizó con el fin de evaluar el efecto coagulante y floculante del polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) como alternativa de manejo de aguas residuales del sector agropecuario y agroindustrial.

## MÉTODO

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad del Cauca en Popayán (Colombia); se utilizaron aguas resultantes de beneficio de café y aguas residuales de agroindustria provenientes de las plantas piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca. La investigación se dividió en ensayo preliminar para definir variables y concentraciones para definir variables y concentraciones y ensayo definitivo.

### Ensayo preliminar

Este ensayo se realizó utilizando un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en diferentes concentraciones de polvo de semilla de moringa que variaron de 0 a 5,5 g/600 mL en aguas residuales del beneficio de café y entre 0 y 0,2 g/600 mL en aguas provenientes del pelado químico de vegetales. La cantidad fue variable debido al contenido de materia orgánica del agua.

Se utilizaron planchas agitadoras con el fin de mezclar el floculante con el agua residual y de acelerar el pro-

ceso de coagulación y floculación, por ello se agitó la mezcla a 130 revoluciones/minuto (RPM) a temperatura ambiente (21,5°C) durante 30 minutos para aguas residuales del proceso de beneficio de café, y durante 15 minutos para aguas residuales del proceso de pelado químico de vegetales.

Las tres repeticiones de cada tratamiento se realizaron simultáneamente. Se tomó el tiempo de sedimentación que permitiera la mayor recuperación de agua.

La recuperación de agua (ecuación 1) es el sobrenadante obtenido después de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{mL recuperados}}{\text{mL iniciales}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Después de 48 horas de sedimentación se extrajo el sobrenadante de las muestras tratadas, luego se hizo un proceso de filtración utilizando un poro de malla mayor a  $0,02\mu$ , al agua resultante se le determinó la turbidez como variable determinante en el ensayo preliminar.

Para el análisis estadístico de los datos se realizó análisis de varianza y comparación de medias de Duncan con un nivel de confianza del 95%.

De acuerdo con los promedios todos los tratamientos redujeron la turbidez en cada una de las aguas residuales, siendo el tratamiento de 4 g/600 mL el mejor con una remoción del 98% en aguas residuales del beneficio de café y 0,15 g/600 mL con una remoción del 69% en pelado químico de vegetales, el análisis de varianza corroboró lo anterior al presentar diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

La prueba de Duncan para el agua residual de beneficio de café permitió definir que los tratamientos 3 al 7 son similares y que los tratamientos 0, 1 y 2 son diferentes entre sí y se diferencian de los otros 5. Debido a que el tratamiento 4 tuvo el menor valor de turbidez y por lo tanto el mejor porcentaje de remoción y recuperación de agua, se concluye que este es el tratamiento adecuado para realizar la comparación con el sulfato de aluminio.

Para el agua resultante del pelado químico de vegetales la prueba de Duncan separa los tratamientos en tres subconjuntos, donde el mejor tratamiento es el 2 porque logra mayor remoción de turbidez.

## Ensayo para tratamiento de aguas residuales

Con base en los datos obtenidos en el ensayo anterior se estableció la dosis adecuada de polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) para los dos tipos de aguas residuales. En este ensayo se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones, los tratamientos consistieron en el uso de polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*); sulfato de aluminio y el testigo sin tratamiento para tratamiento de aguas residuales. El sulfato de aluminio se utilizó con el fin de comparar la forma tradicional de tratamiento de aguas con el polvo de semilla de moringa.

Para el montaje del ensayo cada tratamiento con sus repeticiones se colocó en el Test de jarras a 130 RPM a temperatura ambiente de 21°C, durante 30 minutos para aguas residuales de beneficio de café y 15 minutos para aguas resultantes de pelado químico de vegetales.

Luego de transcurrido el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, se extrajo el sobrenadante, para ser vertido en los multifiltros, con el fin de atrapar las partículas más voluminosas que hubiesen quedado suspendidas en ella.

### Análisis físico, químico y microbiológico

En este análisis se tuvo en cuenta variables físicas, químicas y microbiológicas para obtener evidencias que demuestren la eficacia del polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) en el tratamiento de aguas residuales y su respectiva comparación con el sulfato de aluminio.

Para el análisis físico se evaluó turbidez, potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica; para el análisis químico se evaluó presencia de cloruros (Cl<sup>-</sup>) y sólidos suspendidos (SS) y para el análisis microbiológico se evaluó la presencia de coliformes totales y fecales.

## RESULTADOS

Cada parámetro fue evaluado y analizado individualmente para verificar si se encontraban diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y de esta manera determinar su eficacia.

### Turbidez

Como se observa en el cuadro 1, la turbidez disminuye en los dos tratamientos (TTO) siendo evidente el efec-

to superior con polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*), el cual fue corroborado por el análisis de varianza presentando diferencias estadísticas altamente significativas (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Promedios para variables físicas, químicas y microbiológicas después de tratamiento.

Turbidez				
Agua residual de beneficio de café				
Tratamientos	Dosis	NTU	R (%)	R.A (%)
Testigo	0	>2000	0	0
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	4	170	92	33
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	4	402	80	28
Agua residual de pelado químico de vegetales				
Testigo	0	91,5	0	0
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	0,15	18,33	80	95
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	0,15	26,2	71	92
pH y Conductividad eléctrica por tratamiento				
Agua residual de beneficio de café				
Tratamientos	Dosis	pH	Conductividad	
Testigo	0	3,75	3520	
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	4	4,6	2690	
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	4	4,14	3210	
Agua residual de pelado químico de vegetales				
Testigo	0	5,54	3350	
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	0,15	5,95	2866	
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	0,15	5,88	2866	
Cloruros				
Agua residual de beneficio de café				
Tratamientos	Dosis	Cloruros		
Testigo	0	712,7		
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	4	27,6		
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	4	17,03		

Agua residual de pelado químico de vegetales		
Testigo	0	213,5
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	0,15	15,23
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	0,15	12,23
Sólidos suspendidos		
Agua residual de beneficio de café		
Tratamientos	Dosis	SS
Testigo	0	6840
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	4	243
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	4	366
Agua residual de pelado químico de vegetales		
Testigo	0	456,5
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	0,15	96,33
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	0,15	119,3
Coliformes totales luego de tratamiento		
Agua residual de beneficio de café		
Testigo	Dosis	UFC/100 mL
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	0	10000
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	4	313,3
	4	1360
Agua residual de pelado químico de vegetales		
Testigo	0	0
T <sub>1</sub> ( <i>Moringa oleifera</i> )	0,15	0
T <sub>2</sub> (sulfato de aluminio)	0,15	0

Dosis = (gr/600 mL); UNT=Unidades Nefelométricas de Turbidez; R= remoción (%); R.A= Recuperación de agua (%); Conductividad eléctrica =microsiemens ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); Cloruros=mg/L; Sólidos suspendidos=mg/L; Unidades formadoras de colonia (UFC)/100 mL

El análisis de varianza permitió detectar diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas, tal y como se observó en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Análisis de varianza para variables físicas, químicas y microbiológicas.

Turbidez					
Aguas residuales de beneficio de café					
	SC	gl	CM	F	
Inter-grupos	1055400	2	527700	104,8	**
Intra-grupos	30200	6	5033,3		
Total	1085600	8			
Aguas residuales de pelado químico de vegetales					
Inter-grupos	467222,2	2	233611,1	105,1	**
Intra-grupos	13333,3	6	2222,2		
Total	480555,5	8			
pH					
Aguas residuales de beneficio de café					
Inter-grupos	1,073	2	0,537	27,9	**
Intra-grupos	0,115	6	0,019		
Total	1,189	8			
Aguas residuales de pelado químico de vegetales					
Inter-grupos	0,287	2	0,143	21,5	**
Intra-grupos	0,04	6	0,007		
Total	0,327	8			
Conductividad eléctrica					
Aguas residuales de beneficio de café					
Inter-grupos	1055400	2	527700	104,8	**
Intra-grupos	30200	6	5033,3		
Total	1085600	8			
Aguas residuales de pelado químico de vegetales					
Inter-grupos	467222,2	2	233611,1	105,1	**
Intra-grupos	13333,3	6	2222,2		
Total	480555,5	8			
Cloruros					
Aguas residuales de beneficio de café					
Inter-grupos	953425,7	2	476712,8	2435	**
Intra-grupos	1174,6	6	195,7		
Total	954600,3	8			
Aguas residuales de pelado químico de vegetales					
Inter-grupos	79826,9	2	39913,4	23821	**
Intra-grupos	10	6	1,676		
Total	79836,9	8			

Sólidos suspendidos					
Aguas residuales de beneficio de café					
Inter-grupos	85448214	2	42724107	1808	**
Intra-grupos	141760	6	23626,66		
Total	85589974	8			
Aguas residuales de pelado químico de vegetales					
Inter-grupos	243930,3	2	121965,2	886,6	**
Intra-grupos	825,3	6	137,5		
Total	244755,7	8			
Coliformes					
Aguas residuales de beneficio de café					
Inter-grupos	1,7E+08	2	84788311	1070	**
Intra-grupos	475666,6	6	79277,7		
Total	1,7E+08	8			

La prueba de Duncan (cuadro 3) muestra que  $T_0$ ,  $T_1$  y  $T_2$  difieren entre sí, pero teniendo en cuenta la disminución de la turbidez el tratamiento  $T_1$  fue el que tuvo el mayor efecto, porque redujo la turbidez y el porcentaje de remoción y recuperación de agua fue el más alto.

El agua resultante del proceso de beneficio del café tiene alto contenido de materia orgánica, lo cual limita la productividad natural, debido a que las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que el agua se vuelva más caliente y reduciendo la concentración de oxígeno en la misma. Además, las partículas en suspensión, dispersan la luz disminuyendo la actividad fotosintética de plantas y algas, lo cual contribuye a bajar más la concentración de oxígeno, provocando la perturbación y destrucción del ecosistema acuático [5].

Cuando los valores de turbiedad se aproximan o superan las 200 UNT se manifiesta una alteración drástica y severa en los flujos energéticos y niveles tróficos [6]; esto indica que las aguas provenientes del proceso de beneficio del café que contienen una turbidez mayor a 2000 UNT están causando daños severos al ambiente. En este estudio con el tratamiento de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) se logró reducir la turbidez en un 92% y con el sulfato de aluminio en el 80%; lo cual concuerda con otro estudio donde se obtuvo lecturas de turbidez iniciales entre 80 y 500 UNT obteniendo una efectividad del 95 y 82% con polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) y sulfato de aluminio respectivamente [6], comprobando que el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) es un floculante eficaz.

**Cuadro 3.** Prueba de Duncan para variables físicas, químicas y microbiológicas.

Turbidez de aguas residuales					
BENEFICIO DE CAFÉ	TTO	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
			1	3	170,00
2	3		401,67		
0	3			2000,0	
Sig.			1,000	1,0	1,0
PELADO QUÍMICO	1	3	18,33		
	2	3		26,20	
	0	3			91,50
	Sig.			1,000	1,0
pH					
BENEFICIO DE CAFÉ	TTO	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
			0	3	3,755
2	3		4,14		
1	3			4,6	
Sig.			1,000	1,0	1,0
PELADO QUÍMICO	0	3	5,5400		0
	2	3		5,87	2
	1	3		5,95	1
	Sig.			1,000	,31
Conductividad eléctrica					
TTO	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
		1	2	3	
1	3	2690,0000			
2	3		3210,0000		
0	3			3520,00	
Sig.		1,000	1,000	1,0	

Cloruros en aguas residual de café y pelado químico de vegetales					
BENEFICIO DE CAFÉ	TTO	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
	2	3		17,0333	
1	3		27,6000		1
0	3			712,70	0
Sig.			,391	1,0	**
PELADO QUÍMICO	2	3		12,2333	
	1	3			15,23
	0	3			213,50
	Sig.			1,000	1,0
Sólidos suspendidos en aguas residuales de café y pelado químico de vegetales					
BENEFICIO DE CAFÉ	TTO	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
	1	3		243,00	
2	3		366,00		
0	3			6840,00	
Sig.			,36	1,0	
PELADO QUÍMICO	1	3		96,33	
	2	3		119,33	
	0	3			456,5
	Sig.			,05	1,0
Coliformes totales					
BENEFICIO DE CAFÉ	TTO	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
	1	3		313,33	
2	3			1360,00	
0	3				10000,0
Sig.			1,0	1,0	1,0

TTO= Tratamiento.

El efecto del polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) en las aguas de pelado químico de vegetales fue eficiente en la reducción de la turbidez, encontrando un porcentaje de remoción del 80% en comparación con el sulfato de aluminio que alcanzó el 71%; aunque

el agua procedente del lavado de pelado químico no contiene altos contenidos de materia orgánica, es necesario aclarar que un mal manejo en su vertimiento tiene un impacto ambiental negativo.

### Potencial de hidrogeno (pH)

Los promedios del cuadro 4 muestran que el T<sub>1</sub> fue el que tuvo mayor efecto en el pH de la muestra tratada aumentándola significativamente. El análisis de varianza (Cuadro 5) detecto diferencias altamente significativas entre los tratamientos y la prueba de Duncan (cuadro 6) demuestra que T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> son diferentes entre sí, pero el tratamiento T<sub>1</sub> mejoró con más eficacia el pH en comparación con el Sulfato de Aluminio.

Es importante resaltar que este parámetro puede variar dependiendo del momento en el que se haga el tratamiento, es decir, a mayor número de días el pH tiende a disminuir por la degradación de materia orgánica, la fermentación microbiana del metano, la nitrificación del amonio y la oxidación de los sulfuros; y en general las reacciones químicas que eventualmente se pueden presentar elevando la concentración de gas carbónico que también contribuye a la reducción de los valores del pH.

Las aguas resultantes del proceso de beneficio del café, presentan un pH altamente ácido ocasionado fundamentalmente por la presencia de minerales como hierro, cobre, aluminio y azufre que afectan las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos y producen un cambio de poblaciones de bacterias a poblaciones de hongos, disminuyendo la descomposición de celulosa y la concentración de oxígeno, lo cual provoca malos olores [7].

Las aguas residuales de pelado químico de vegetales presentan un pH inicial medianamente ácido que está dado por la incidencia de gas carbónico, sin embargo, al realizar el tratamiento con polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) se logra un aumento superior (0,41) mejorando la calidad del agua.

### Conductividad eléctrica

Los datos obtenidos (cuadro 1) muestran la reducción de la conductividad eléctrica mediante el empleo de los dos tratamientos, no obstante para el agua residual de pelado químico de vegetales los dos tratamientos presentaron la misma eficacia en la reducción de este parámetro a pesar de las diferencias altamente significativas detectadas en el análisis de varianza (cuadro 2).

La conductividad eléctrica expresa la concentración de sales solubles en el agua, cuando se supera los 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  las plantas tienen un gasto mayor de energía para poder absorber nutrientes, conllevando al marchitamiento de las plantas, por ello el vertimiento del agua residual de beneficio de café sin un adecuado tratamiento se convierte en una alteración drástica al ecosistema. Los tratamientos empleados redujeron este parámetro, sin embargo el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) logra mayor disminución de la conductividad por lo que resulta ser el mejor tratamiento (cuadro 3) [8].

### Cloruros (Cl<sup>-</sup>)

Los datos (cuadro 1) muestran que el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> redujeron significativamente los cloruros, sin embargo el T<sub>2</sub> presentó un mejor efecto en la disminución de esta variable.

El análisis de varianza (cuadro 2) muestra que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos y la prueba de comparación de medias de Duncan (Cuadro 3) muestra que T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> son iguales, pero difieren con el tratamiento T<sub>0</sub>, aunque el tratamiento T<sub>2</sub> fue más eficiente para disminuir cloruros en comparación con el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*).

La presencia de cloruros en las aguas residuales es elevada y cuando superan los 350 mg/L constituye alta toxicidad para los organismos acuáticos, limita el crecimiento de las plantas y el consecuente deterioro en la calidad del suelo [9]. Con los dos tratamientos se logra reducir los cloruros a niveles adecuados, por debajo de 300 mg/L [10].

### Sólidos suspendidos

Los datos obtenidos (cuadros 1) indican una notable disminución de sólidos suspendidos en los dos tratamientos, sin embargo T<sub>1</sub> fue el más eficiente.

La prueba de Duncan (cuadro 3) indica que T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> son similares pero difieren de T<sub>0</sub>, sin embargo T<sub>1</sub> es más eficaz para disminuir los sólidos suspendidos.

La presencia de sólidos suspendidos está relacionada con la turbiedad y se debe al alto contenido de materia orgánica, que impide la penetración de la luz solar sobre la columna de agua, convirtiéndose en un limitante para el crecimiento de macrófitas acuáticas, según la Comisión Nacional del Agua cuando superan

los 300 mg/L impiden el brote de semillas, dificultan la actividad fotosintética y disminuyen el oxígeno, lo que indica que las aguas residuales de beneficio de café con 6840 mg/L y las aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 456,5 mg/L afectan negativamente la biota, con los tratamientos se redujo significativamente este parámetro, sin embargo con el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) se disminuyó a niveles aceptables para el ecosistema.

### Coliformes totales

Los datos obtenidos (cuadro 1) muestran que las cargas microbianas presentes en el agua de beneficio de café es alta debido a la fermentación, los resultados indican que los T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> disminuyeron significativamente los microorganismos, siendo más eficiente el tratamiento con polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*); en cuanto al agua de pelado químico el análisis microbiológico efectuado a esta agua residual indicó que no hay presencia de coliformes totales, esto se debe a que estos microorganismos son sensibles a la desinfección; aclarando que en la práctica de pelado químico de vegetales se emplean desinfectantes que eliminan la presencia de este tipo de microorganismos.

La prueba de Duncan (cuadro 3) determina que los T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> son diferentes entre sí, pero el tratamiento que más reduce la carga microbiana es el T<sub>1</sub>.

El análisis microbiológico mostró que hubo alta presencia de coliformes totales, lo que indica una posible presencia de microorganismos patógenos, por esta razón fue necesario realizar el análisis para la determinación de coliformes fecales, lo cual dio como resultado la no presencia de esta clase de microorganismos. Desde el punto de vista de salud pública la presencia de coliformes totales en aguas residuales debe ser menor a 1000 UFC/100 mL [11], es importante destacar que el empleo del polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) y sulfato de aluminio disminuyó considerablemente el contenido de coliformes totales en el agua tratada, comparada con la inicial, sin embargo con el empleo del polvo de semilla de moringa las unidades formadoras de colonias son aceptables para su vertimiento.

Las aguas residuales de beneficio de café como de pelado químico de vegetales antes de su vertimiento deben cumplir con la normatividad ambiental Colombiana, Resolución 0631 de 17 de marzo de 2015. Como se observa en el cuadro 4, los resultados obtenidos en los dos tratamientos mejoran la calidad del agua resi-



**Cuadro 4.** Efectividad de la *Moringa oleífera* y sulfato de aluminio.

Aguas residuales de beneficio de café						
	L.I	Moringa oleífera		Sulfato de aluminio		Decreto 1584/1984
		L	%E	L	%E	
UNT	>2000	170	92*	402	80*	R >80%
pH	3,75	4,6	-	4,1	-	4,5 – 9,0
CE	3520	2690	23,5	3210	8,8	-
CI	712,7	27,6	96	17,0	98	250
SS	6840	243	96*	366	95*	R>80%
CT	10000	313	97	1360	86	<5000
CF	0	0	-	0	-	<1000
Agua residual de pelado químico de vegetales						
	L.I	Moringa oleífera		Sulfato de aluminio		Decreto 1584/1984
		L	%E	L	%E	
UNT	91,5	18,33	80*	26,2	71*	R >80%
pH	5,54	5,95	-	5,88	-	4,5 – 9,0
CE	3350	2867	15	2867	15	-
CI	213,5	15,23	93	12,23	94	250
SS	456,5	96,33*	80	119,3	74*	R>80%
CT	0	0	-	0	-	<5000
CF	0	0	-	0	-	<1000

\*Expresado en porcentaje de remoción; L.I= Lectura inicial; L= Lectura después del tratamiento; %E= Porcentaje de eficiencia de los tratamientos empleados; R= Remoción.

dual, pero con el polvo de semilla de moringa todos los parámetros evaluados se encuentran en los rangos adecuados para su vertimiento, lo que no sucede con el sulfato de aluminio.

La utilización del polvo de semilla de moringa es una alternativa natural, eficiente, económica y de fácil manejo para el productor. La adquisición de un sistema de tratamiento con polvo de semilla de moringa permitirá al productor certificarse con buenas prácticas agrícolas, debido a que el agua recuperada con el tratamiento cumple con la Resolución 0631 de 17 de marzo de 2015, y contribuye a la disminución de la contaminación del ecosistema. [12].

## CONCLUSIONES

El polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) es efectivo como floculante y coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de beneficio de café y del proceso de pelado químico de vegetales.

La dosis apropiada de polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) para aguas residuales del proceso de beneficio de café es de 4 g/600 mL y para aguas resultantes del pelado químico de vegetales es de 0,15 g/600 mL.

En el tratamiento de aguas residuales el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) y el sulfato de aluminio son eficientes en el mejoramiento de la calidad del agua, la diferencia radica en que la moringa oleífera no perjudica al ecosistema, y es más eficiente para algunos parámetros de calidad.

El polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) es eficaz en el tratamiento de aguas residuales del beneficio del café, mejorando parámetros físicos, químicos y microbiológicos en un 80,9%, igualmente el sulfato de aluminio pero solo en un 73,56%.

El polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) es eficaz en el tratamiento de aguas residuales del pelado químico de vegetales, mejorando parámetros físicos, químicos y microbiológicos en un 66,75%, mientras el sulfato de aluminio lo hace en un 63,5%.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca por el apoyo en la realización de la investigación y al trabajo de grado de Madeleine Gutiérrez y Carlos F. Mera, del cual se origina la publicación.

## REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA (FAO). El éxito en la lucha contra el hambre depende de un mejor uso del agua [online]. 2012. Disponible: <http://www.fao.org/news/story/es/item/130041/icode/>
- [2] SOTO, A. La dimensión ambiental de la Caficultura en Colombia. Memorias del seminario: misión estudios de la competitividad de la caficultura en Colombia. Bogotá (Colombia): Universidad del Rosario, 2014.
- [3] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA (FAO). Afrontar la escasez del agua: un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria [online]. 2013. Disponible: <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>
- [4] CONAGUA. Estadísticas del agua en México: edición 2013. Ciudad de México (México): 2013, 166 p.
- [5] SEVERICHE, C.A., CASTILLO, B.M. y ACEVEDO, R.L. Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas. Cartagena (Colombia): 2013.
- [6] FUNDACION NACIONAL DE SALUD. Manual Práctico de Análisis de Agua. 4 ed. Brasilia (Brasil): 2013, 153 p.
- [7] MARTÍN, C., MARTÍN, G., GARCÍA, A., FERNÁNDEZ, T., HERNÁNDEZ, E. y PULS, J. Potenciales aplicaciones de *Moringa oleífera*: una revisión crítica. Pastos y Forrajes, 36(2), 2013, p. 137-149.
- [8] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA (FAO). Tecnologías para el uso sostenible del agua: Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático [online]. 2013. Disponible: [http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM\\_Files/Tecnologias%20para%20el%20uso%20sostenible%20del%20agua.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/Tecnologias%20para%20el%20uso%20sostenible%20del%20agua.pdf)
- [9] FERNANDEZ, M.J. Validación de los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza en el agua tratada y cruda en la planta de tratamiento de Empocabal (Santa Rosa de Cabal) [Tesis Ingeniería química]. Pereira (Colombia): Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnologías, Escuela de química, 2012, 76 p.
- [10] GUTIERREZ, S.M.L. y MERA, A.C.F. Evaluación del efecto coagulante y floculante del polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos agropecuarios y agroindustriales en el departamento del cauca [Trabajo de grado Ingeniería Agropecuaria]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2014, 93 p.
- [11] MOLANO, M.L.A. Efecto de la moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. [Trabajo de grado Especialización Química Ambiental]. Bucaramanga (Colombia): Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, 2011, 43 p.
- [12] ARCILA, H. R., y PERALTA, J. J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 11(2), 2015, p. 136-153