

Artículo científico

Uso de semilla de moringa oleifera como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano

Edwin Geovani Turcios Flores

Ingeniero civil; Msc. en ingeniería sanitaria, ERIS, USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: geovaniturcios@hotmail.com

Recibido: 13/09/2017 Aceptado: 30/10/2017

Resumen

El presente artículo, muestra el resultado de evaluar la eficiencia y factibilidad del uso de polvo de semilla de moringa como coagulante orgánico, para remover la turbiedad del agua destinada para consumo humano. Para alcanzar el objetivo del estudio, se indujo artificialmente la turbiedad por medio de arcilla caolín, obteniendo diferentes turbiedades en un rango de 0 a 500 UNT, así mismo se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio y de la semilla de moringa, por medio de 15 pruebas de jarras. Posteriormente, se realizaron 25 pruebas de jarras a diferentes turbiedades aplicando las dosis óptimas identificadas, manteniendo una muestra control en cada ensayo realizado, determinando el porcentaje de remoción a 15, 30 y 60 minutos de sedimentación. Al evaluar los resultados utilizando el coagulante a base de polvo de la semilla de moringa, se obtuvo un porcentaje de remoción real promedio de turbiedad de 23% con un tiempo de sedimentación de 15 minutos. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que técnicamente no es factible utilizar polvo de semilla de moringa como coagulante orgánico a nivel domiciliario, y como alternativa para sustituir el sulfato de aluminio de acuerdo a la metodología empleada, debido a que el valor residual de turbiedad, después de al menos una hora de sedimentación, no es suficiente para cumplir con la norma guatemalteca COGUANOR NTG 29001.

Palabras clave: Arcilla caolín, potabilización del agua, prueba de jarras, sulfato de aluminio, turbiedad.

Abstract

The present article, shows the results of moringa seed powder evaluation as an organic coagulant to remove turbidity from water destined for human consumption. In order to reach the objective of the study, turbidity was artificially induced through kaolin clay, obtaining different turbidity in a range of 0 to 500 NTU, and also the optimum dosage of aluminum sulfate and moringa seed was determined by 15 jars tests. Subsequently, 25 jars tests were made at different turbidity using the identified optimum dosage, maintaining a control sample in each test, determining the percentage of removal at 15, 30 and 60 minutes of sedimentation. When evaluating the results using the moringa seed powder coagulant, a real average removal percentage of turbidity of 23% was obtained with a sedimentation time of 15 minutes. According to the results, it is concluded that it is technically not feasible to use moringa seed powder as an organic coagulant at the household level and as an alternative for aluminum sulfate, according to the methodology used, because the residual value of turbidity, after at least one hour of sedimentation, is not sufficient to comply with the Guatemalan standard COGUANOR NTG 29001.

Keywords: Aluminum sulfate, clay kaolin, jar test, turbidity, water purification.

Introducción

En esta investigación, se realiza el estudio de la semilla de moringa como coagulante orgánico para buscar alternativas a nivel domiciliario que puedan reducir los valores de turbiedad, hasta los límites permisibles en la normativa guatemalteca COGUANOR NTG 29001.

En las plantas potabilizadoras de agua en Guatemala, se utiliza el sulfato de aluminio como agente coagulante-floculante, debido a que es altamente efectivo. Los inconvenientes de este producto, al igual que los polímeros sintéticos, es el elevado costo y que también, es necesario contar con una infraestructura adecuada y personal técnico capacitado para su aplicación.

En la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) se han realizado cuatro estudios sobre coagulantes orgánicos; sin embargo, ninguno de ellos ha evaluado la efectividad directa del coagulante, debido a que no han contado con pruebas control o blancos, los cuales permiten evaluar el proceso sin el efecto

que se encuentra en observación, que en el caso del presente artículo, es la remoción de turbiedad utilizando coagulante a base de polvo de semilla de moringa.

Para realizar esta investigación, se utilizó agua con turbiedad artificial, la cual fue inducida a través de la inclusión de arcilla caolín, para obtener un rango de

diferentes muestras entre 0 y 500 UNT. Se utilizó el equipo de pruebas de jarras, para realizar las fases de coagulación, floculación y sedimentación.

El valor de la turbiedad fue medido al inicio de la prueba de jarras, a los 15, 30 y 60 minutos de sedimentación, sin utilizar ningún coagulante, usando sulfato de aluminio y coagulante a base de polvo de semilla de moringa. Los resultados indican que, con la metodología propuesta, la remoción real de turbiedad utilizando coagulante a base de semilla de moringa, alcanza un 23% a los 15 minutos de sedimentación, así mismo, muestran que no es factible el uso del coagulante natural propuesto, según la metodología utilizada, debido a que los valores de la turbiedad residual no alcanzan los niveles límites máximos permisibles requeridos en la norma guatemalteca COGUANOR NTG 29001.

Antecedentes

En muchos países en vías de desarrollo, la pobreza en las áreas rurales, no permite implementar procesos de potabilización complejos en cada servicio de

abastecimiento que lo necesita, por lo cual, surge la necesidad de implementar procesos de potabilización a escala domiciliar que se adapten a las comunidades y sean sostenibles, en los cuales, se utilicen materiales y/o productos que se encuentren localmente o de fácil acceso y a pesar que los coagulantes orgánicos fueron utilizados ancestralmente, como en India, África y China. Su aplicación ha sido más bien empírica y una

Tabla 1. Antecedentes de estudios realizados en ERIS

Año	Coagulante evaluado	Tipo de agua utilizada	Turbiedades diferentes evaluadas	Rango de turbiedad (UNT)	Mezcla rápida		Mezcla lenta		Sed. (min)
					Tiempo (min)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Velocidad (rpm)	
1,986	Semilla Moringa	Natural*	2	14 - 747	0.5 y 5	60 y 20	5 y 10	20 y 25	1 día
1,987	Fécula de maíz	Natural*	2	86 - 1,150	1	100	15	40	30
2,015	Almidón de yuca	Sintética**	60	0 - 1,000	1	100	15	40	15
2,016	Semilla de tamarindo	Sintética**	24	100 - 500	1	100	20	30	30
* Agua tomada de la planta Lo de Coy									
** Turbiedad inducida por medio de arcilla tipo caolín									

gran parte de la información existente proviene de la tradición oral y cultural.

Según indica Asrafuzzaman *et al.* (2011) desde inicios del siglo XXI, los coagulantes orgánicos han ido ganando relevancia y están siendo considerados por muchos investigadores, debido a que pueden conseguirse a bajos precios, son amigables con el ambiente, son abundantes, no presentan potenciales daños a la salud y por su naturaleza son biodegradables en el proceso de potabilización del agua.

En la ERIS, en el año 1986 se inician las investigaciones con coagulantes orgánicos, siendo la primera de ellas la realizada por Mejía (1986), quien realizó el estudio de la semilla de moringa como coagulante natural, reportando muy buenos resultados; sin embargo, la metodología realizada hace 30 años, hace que estos resultados no puedan compararse con los últimos estudios realizados. Entre las principales limitantes del estudio está la evaluación de únicamente dos turbiedades diferentes y que el tiempo de sedimentación empleado fue de 24 horas.

En la tabla 1, se detallan los principales parámetros utilizados en las metodologías propuestas por los autores de los cuatro estudios mencionados, como el tipo de agua utilizada, turbiedades evaluadas, velocidad en las mezclas y tiempos de sedimentación.

Martínez (1987), evaluó la fécula de maíz con el objetivo de estudiar su efecto coagulante. En el estudio concluye que sí es posible substituir hasta un 25% del sulfato de aluminio por fécula de maíz en el proceso de coagulación-floculación. Únicamente evaluó dos turbiedades diferentes y realizó la prueba al reemplazar 1/4 y 1/3 de la dosis óptima de sulfato de aluminio por fécula de maíz.

Moscozo (2015) realizó la evaluación del uso de almidón de yuca como coagulante natural, también con diferentes combinaciones entre almidón de yuca y sulfato de aluminio, concluyendo que es posible substituir hasta en un 60% el sulfato de aluminio. Cabe mencionar que ninguna combinación presentó mejor eficiencia que al utilizar únicamente sulfato de aluminio.

Álvarez (2016), evaluó la capacidad de la semilla de tamarindo como coagulante, esta semilla presentó un comportamiento positivo en la remoción de turbiedad y color, aunque económicamente, como indica el autor, no es una propuesta factible. Las mejores eficiencias

se reportaron utilizando un proceso de filtración al vacío.

Metodología

Las características de los materiales empleados, los procedimientos, la ecuación empleada para el cálculo de la remoción y el número de muestras, se detalla a continuación:

Obtención del agua empleada en el estudio

El agua utilizada se tomó directamente del grifo ubicado en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina, ubicado en el segundo nivel del edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad Universitaria zona 12, Guatemala, Guatemala. Para obtener la turbiedad deseada en el agua, se agregó diferentes cantidades de arcilla tipo caolín.

El procedimiento utilizado consideró la metodología empleada por Moscozo (2015) y Álvarez (2016), utilizando los pasos siguientes:

- Pesar los gramos de caolín correspondientes para la turbiedad deseada en una balanza digital.
- Colocar dos litros de agua del grifo en cada una de las 6 jarras.
- Adicionar la arcilla caolín al agua de cada jarra y mezclar por medio del equipo de prueba de jarras por 2 minutos a 100 rpm, para obtener una mezcla homogénea.
- Tomar una muestra del agua preparada de una de las jarras y medir la turbiedad por medio del método nefelométrico utilizando un turbidímetro.
- Medir el color aparente por medio del método platino-cobalto utilizando un fotómetro.

Obtención del coagulante a base de semilla de moringa

Las semillas de moringa se adquirieron por medio de la empresa dMoringa, en la presentación de 1 libra, conteniendo un promedio de 1,600 semillas secas por libra.

Para obtener la solución de coagulante al 1% se siguieron los siguientes pasos:

- Remover la cáscara color castaño de la semilla, dejando únicamente la semilla cubierta por un endospermo blanquecino.
- Licuar en seco la semilla en una licuadora de uso doméstico, durante 5 minutos. Obteniendo de esta forma, un polvo fino de semillas de moringa.
- Agregar 200 ml de agua destilada en un vaso de precipitar y adicionar 2 gramos de polvo de moringa.
- Mezclar durante 10 minutos a 60 revoluciones por minuto, mediante un agitador magnético.
- Tamizar por medio de un colador metálico de uso doméstico la mezcla homogénea resultante.

La solución resultante fue utilizada de acuerdo con las diferentes dosis propuestas en la fase experimental, para determinar la eficiencia de la semilla de moringa como coagulante orgánico.

Calculo para la remoción de turbiedad

Para determinar el porcentaje de remoción, se utilizó la ecuación mostrada a continuación, la cual fue utilizada en estudios realizados en la ERIS.

$$\% \text{ remoción} = \left(\frac{\text{valor inicial} - \text{valor residual}}{\text{valor inicial}} \right) 100$$

No contar con valores de control induce un sesgo debido a que las partículas pueden sedimentar de forma natural, a través del tiempo y esto puede generar una reducción de turbiedad, que no está siendo medida en los estudios.

Derivado de este análisis, se decidió utilizar los valores control, para reportar el porcentaje de remoción real que se debe únicamente al proceso de coagulación-floculación producida por el coagulante utilizado, conforme a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ remoción real} = \left(\frac{\text{valor control} - \text{valor residual}}{\text{valor control}} \right) 100$$

Para el cálculo de los porcentajes de remoción, los valores no deberían ser mayores a 100 %, que indicaría remoción total y si se diera algún valor negativo, se colocará un valor de cero, que indicaría que no hubo ninguna disminución en los valores.

Preparación de la prueba de jarras

La prueba de jarras es el mejor método para controlar la dosis correcta de sustancias químicas que deben aplicarse para coagular el agua y simular las condiciones reales de una planta potabilizadora, pese a las diferencias existentes con un proceso real.

Estas pruebas fueron desarrolladas de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM D 2035-08 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water.

Para la preparación de la prueba de jarras se siguieron estos pasos:

- Preparar el agua adicionando arcilla caolín según la turbiedad deseada y obtener una mezcla homogénea en las seis jarras de dos litros cada una.
- Ajustar la velocidad de las paletas a 100 revoluciones por minuto para efectuar la mezcla rápida de un minuto y dosificación del coagulante por medio de jeringas.
- Ajustar la velocidad de las paletas a 40 revoluciones por minuto para simular la mezcla lenta o tiempo de floculación, por 15 minutos.
- Tomar las muestras y medir la turbiedad residual a los 15, 30 y 60 minutos de sedimentación, por medio de un flotador con sifón invertido.

Determinación del número de muestras

Considerando que la reducción de la turbiedad mediante el uso de coagulante a base de polvo de semilla de moringa, no es un evento aleatorio. Se utilizó la propuesta de Álvarez (2016), en la cual se determina la cantidad de muestras, utilizando la prueba de distribución binomial, por medio de una prueba de hipótesis estadística.

Debido a que los antecedentes indican que la utilización de la semilla de moringa debe disminuir la turbiedad en las muestras, se puede asumir que la probabilidad de éxito será, como mínimo del 70%, este valor es llamado poder estadístico de la prueba y regularmente oscila entre 70% y 85%. También se tomó un nivel de significancia de 0.05, es decir, que dicho valor es la probabilidad de cometer un error tipo I, que sucede cuando se rechaza la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera, teniendo los siguientes datos:

Ho: p = 0.70 (hipótesis nula)

Ha: p > 0.70 (hipótesis alternativa)

$\alpha = 0.05$ (nivel de significancia)

x = 25 (número de ensayos)

n = 25 (número de éxitos)

Con la ecuación de la prueba de distribución binomial y sustituyendo los datos, se tiene:

$$P = \alpha = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} = \binom{25}{25} 0.7^{25} 0.3^0 = 0.000134$$

El resultado indique que la probabilidad que el evento estudiado sea aleatorio es de 0.000134, por lo cual se puede afirmar que, si los 25 ensayos son exitosos, la disminución de la turbiedad es consecuencia de la adición del coagulante utilizado.

Como el resultado del nivel de significancia es menor al valor propuesto (0.05), se puede permitir incluso que 3 de los 25 ensayos no sean satisfactorios. Como se muestra a continuación:

$$\alpha = \binom{25}{22} 0.7^{22} 0.3^3 = 0.0243$$

$$0.0243 < 0.05 \text{ (valor propuesto)}$$

El número de pruebas necesario es de 25, pudiendo ser 3 de ellas no exitosas.

Las 25 pruebas abarcaron un rango de turbiedad desde 0 a 500 UNT, se tuvieron 5 rangos de turbiedad de 100 unidades, con 5 pruebas en cada uno de ellos.

Resultados

Las dosis óptimas de sulfato de aluminio y polvo de semilla de moringa para los diferentes rangos de turbiedad, fueron establecidas a través de quince pruebas de jarras, conforme se detalla en la tabla 2.

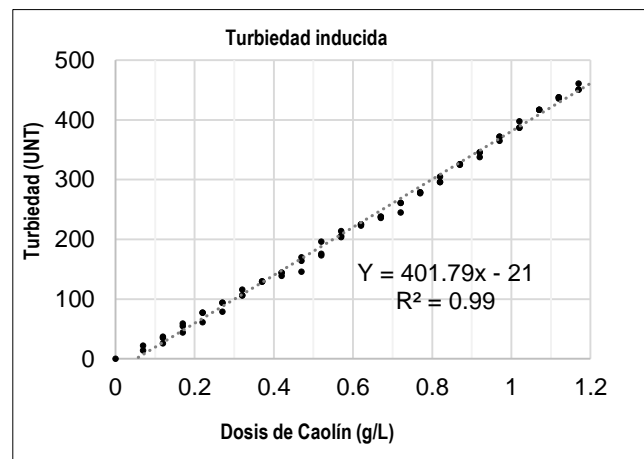
Tabla 2. Dosis óptimas de coagulante

Rangos de turbiedad (NTU)	Dosis en mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Dosis en mg/L de semilla de moringa
0 - 100	30	30
100 - 200	40	40
200 - 300	50	50

Rangos de turbiedad (NTU)	Dosis en mg/L de $Al_2(SO_4)_3$	Dosis en mg/L de semilla de moringa
300 - 400	60	60
400 - 500	70	70

El comportamiento de la turbiedad artificial en función de la cantidad de arcilla caolín aplicada, se muestra en la figura 1.

Figura 1. Turbiedad inducida por medio de caolín



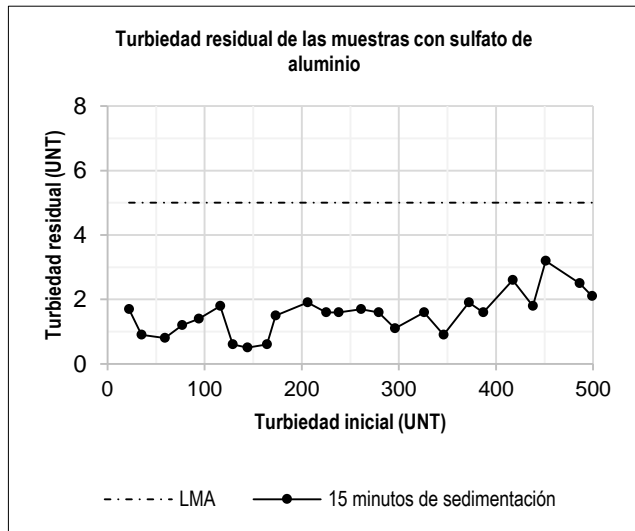
Y: turbiedad obtenida en UNT

x: cantidad de caolín aplicado en gramos por litro

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en el laboratorio.

Se muestran los resultados de turbiedad residual obtenidos en 25 pruebas de jarras realizadas en el laboratorio, utilizando sulfato de aluminio en la figura 2.

Figura 2. Turbiedad residual aplicando sulfato de aluminio.



LMA: Límite máximo admisible (5 UNT)

LMP: Límite máximo permisible (15 UNT)

Los resultados sin utilizar coagulantes y usando coagulante a base de polvo de semilla de moringa se muestran en las figuras 3, 4 y 5.

En dichos ensayos se midió la turbiedad al inicio de la prueba de jarras y a 15, 30 y 60 minutos de sedimentación.

Figura 3. Turbiedad residual a 15 minutos de sedimentación.

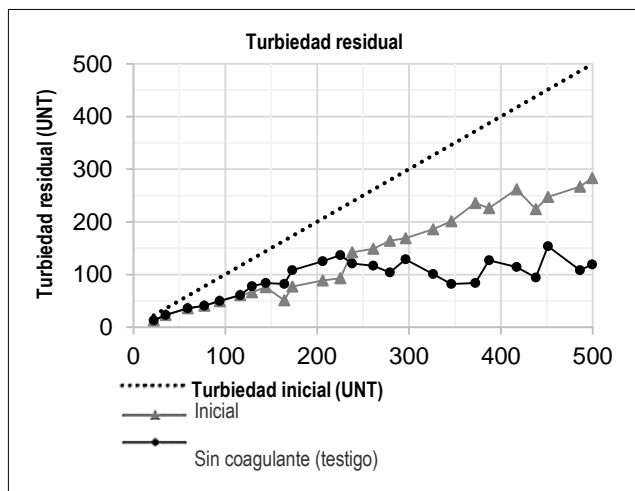


Figura 4. Turbiedad residual a 30 minutos de sedimentación.

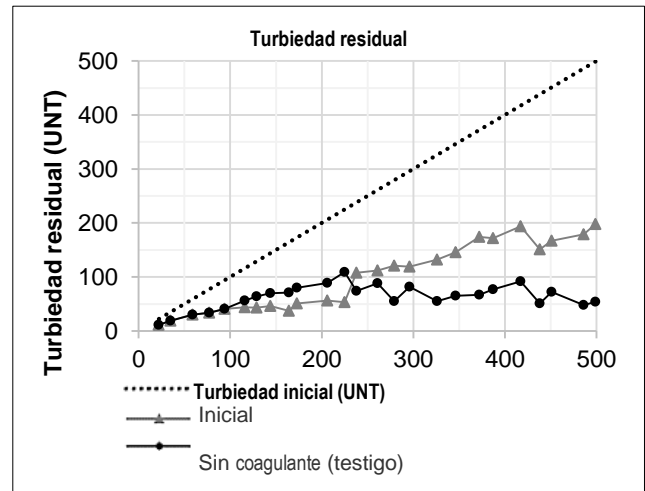


Figura 5. Turbiedad residual a 60 minutos de sedimentación.

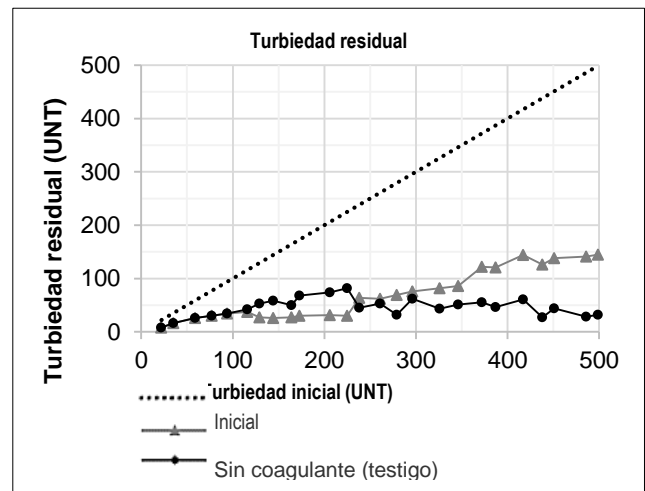


Tabla 3. Remoción de turbiedad sin aplicar coagulante

No.	Turbiedad inicial (UNT)	Sedimentación (minutos)		
		15	30	60
% Remoción de turbiedad				
1	22	41	50	64
2	35	34	46	54
3	59	39	49	56

No.	Turbiedad inicial (UNT)	Sedimentación (minutos)		
		15	30	60
		% Remoción de turbiedad		
4	77	47	56	61
5	94	48	56	64
6	116	47	62	68
7	129	49	67	79
8	144	47	68	82
9	164	69	77	84
10	173	55	71	83
11	206	57	73	85
12	225	59	76	87
13	238	40	55	73
14	261	43	57	76
15	279	41	57	75
16	296	43	60	74
17	326	43	60	75
18	346	42	58	75
19	372	37	53	67
20	387	42	56	69
21	417	37	53	65
22	438	49	66	71
23	451	45	63	69
24	486	45	63	71
25	499	43	60	71
	Promedio:	46	60	72
	Desviación estándar:	7.5	8.1	8.4

Tabla 4. Remoción de turbiedad utilizando semilla de moringa

No.	To (UNT)	Sedimentación (minutos)					
		15	30	60	15	30	60
		% remoción			% remoción real		
1	22	41	50	64	0	0	0
2	35	34	46	54	0	0	0
3	59	39	49	56	0	0	0
4	77	47	56	61	0	0	0
5	94	47	56	64	0	0	0
6	116	47	52	64	0	0	0
7	129	40	50	59	0	0	0
8	144	42	51	60	0	0	0
9	164	50	57	70	0	0	0
10	173	38	54	61	0	0	0
11	206	39	57	64	0	0	0
12	225	39	52	64	0	0	0
13	238	49	69	81	15	31	30
14	261	55	66	80	21	21	15
15	279	63	80	89	37	55	54
16	296	56	72	79	24	31	18
17	326	69	83	87	46	58	48
18	346	76	81	85	59	55	41
19	372	77	82	85	64	61	55
20	387	67	80	88	44	55	62
21	417	73	78	85	56	53	58
22	438	79	88	94	58	66	79
23	451	66	84	90	38	57	68
24	486	78	90	94	60	73	80
25	499	76	89	94	58	73	78
	Promedio:	55	67	75	23	28	27
	Desv. estándar:	15.0	15.0	13.5	25.1	28.7	30.3

Los porcentajes de remoción real, sin utilizar ningún tipo de coagulante, se muestran en la tabla 3. Mientras que los porcentajes de remoción y remoción real, utilizando coagulante a base de polvo de semilla de moringa, se muestran en la tabla 4.

Análisis de resultados

Siguiendo la metodología propuesta para el presente estudio y en el cual se observa la importancia de aplicar el uso de muestras control en los procesos de investigación, las cuales permitieron evaluar el proceso sin el efecto que se encuentra en observación, se analizan los resultados a continuación:

Turbiedad inducida por medio de caolín

La turbiedad inducida se comporta de manera proporcional a la cantidad de arcilla caolín aplicado. Es un comportamiento lineal con un coeficiente de correlación de 0.99, como se aprecia en la figura 1.

Para este análisis, se utilizaron 76 datos obtenidos en el laboratorio aplicando arcilla caolín al agua del grifo con turbiedades iniciales menores a una UNT.

Debido a que la arcilla caolín utilizada, sedimenta naturalmente en el agua, la turbiedad disminuye conforme pasa el tiempo, por lo que, las muestras para realizar las lecturas deben tomarse cuando la mezcla sea homogénea, pudiendo ser en el proceso o justo al finalizar el mezclado.

Turbiedad residual utilizando sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio ha sido plenamente estudiado y es el coagulante más utilizado en la región, el valor de turbiedad residual se encuentra dentro de los límites de la norma COGUANOR NGO 29001, utilizando al menos quince minutos de sedimentación.

El porcentaje de remoción de turbiedad esta en promedio por arriba del 97%, como se puede apreciar en la figura 2.

Turbiedad residual sin aplicar coagulantes

Estas pruebas reportaron la disminución de la turbiedad, como se puede observar en las figuras 3, 4 y 5, lo cual confirma la existencia de una sedimentación natural del caolín utilizado. Estos ensayos fueron utilizados como muestras comparadoras o valores de control.

La sedimentación natural del caolín produce un porcentaje promedio de remoción de turbiedad a los 15 minutos de 46%. Este porcentaje sube a 60% a 30 minutos de sedimentación y a los 60 minutos alcanza una remoción promedio de hasta 72%.

Turbiedad residual aplicando semilla de moringa

Utilizando coagulante a base de polvo de semilla de moringa, el porcentaje real de remoción promedio de turbiedad con una sedimentación de 15 minutos es de 23%, con 30, de 28% y a los 60 minutos es de 27%.

Al comparar la eficiencia del coagulante a base de polvo de semilla de moringa con los valores de control y con la metodología utilizada, se puede afirmar que en turbiedades por debajo de 225 UNT no existe ninguna remoción, ya que la disminución de estos valores se debe a la precipitación natural de las partículas de arcilla caolín en los diferentes tiempos de sedimentación.

Al no tomar en cuenta los valores de control, los porcentajes de eficiencia en la remoción de turbiedad utilizando semilla de moringa son mayores, por lo cual, al reportar la eficiencia de esa forma se induce sesgo en los resultados. El comportamiento de la disminución de la turbiedad a través del tiempo puede observarse en las figuras 3, 4 y 5.

Conclusiones

La utilización de polvo de semilla de moringa como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad del agua destinada a consumo humano, con la metodología propuesta y utilizando agua con turbiedad artificial inducida por medio de arcilla caolín, no es técnicamente factible, dado que luego de realizar los ensayos del presente estudio no se logró alcanzar los niveles límites máximos permisibles requeridos en la norma COGUANOR NGO 29001 de 15 UNT en turbiedad, evaluando al menos una hora de sedimentación.

La eficiencia en la remoción de la turbiedad en el presente estudio usando sulfato de aluminio, es 4.24 veces superior, a la obtenida usando coagulante a base de polvo de semilla de moringa con al menos 15 minutos de sedimentación.

En el agua con turbiedad artificial, las partículas de arcilla tipo caolín sedimentan naturalmente a través del

tiempo, reduciendo considerablemente los valores de turbiedad iniciales.

Referencias

- Álvarez, T., 2016. Uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus Indica*) como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización. Tesis de maestría, USAC, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.
- Martínez, E., 1987. El uso de fécula de maíz como una alternativa de ayuda en el proceso de coagulación del agua cuando se emplea el sulfato de aluminio. Tesis de maestría, USAC, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.
- Mejía, J.M., 1986. La utilización de la semilla de la moringa oleifera como coagulante natural. Tesis de maestría, USAC, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.
- Moscozo, L.R., 2015. Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización. Tesis de maestría, USAC, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Guatemala.
- Srafuzzaman, M., fakhruddin, A.N.M., hossain, M.A., 2011. Reducción de la turbiedad en el agua utilizando coagulantes naturales disponibles localmente. International Scholarly Research Network, vol. 2011, pp. 1-6. ISSN 2090-7478, 2090-7478. DOI 10.5402/2011/632189, 10.5402/2011/632189.
- Turcios, E., 2017. Uso de semilla de moringa Oleifera como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano. Tesis de maestría, USAC, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.

Información autor:

Ingeniero civil, Edwin Geovani Turcios Flores, graduado en la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.