

Artículo Científico

Biodegradabilidad de los lodos que son generados al utilizar la Moringa oleífera como coagulante único en los procesos de potabilización del agua.**Mario Antonio Corado Guzmán**

MSc ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC

Trabajo: Obra Civil Agua Potable Saneamiento-OCAPSA-

Dirección para recibir correspondencia: ingecorado@hotmail.com

Recibido: 27.11.2017 Aceptado 23.04.2018

Resumen

Este artículo muestra los resultados de aplicar la Moringa oleífera como coagulante en procesos de remoción de turbiedad para la potabilización de las aguas crudas. Esto genera lodos a los cuales es necesario darles algún tipo de tratamiento previo a su disposición final, por lo que, es necesario determinar su biodegradabilidad. Para determinar esta biodegradabilidad de los lodos se planteó una metodología en la cual se utilizó agua de muestra proveniente del altiplano y conducida por medio del acueducto Xayá Pixcayá hasta la ciudad de Guatemala, dividiendo esta agua de muestra en cinco partes y luego diluyéndola hasta alcanzar cinco rangos de turbiedad. Para cada uno de los rangos de turbiedad se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO₅) en condiciones óptimas de dosificación. El índice de biodegradabilidad, se obtuvo como resultado de dividir la DQO con la DBO₅, que dio como resultado el índice de biodegradabilidad promedio de 2.23 con un intervalo de confianza de 1.83 a 2.62, lo cual indica que estos lodos son muy biodegradables, utilizando el criterio de Hernández & Galán (2004). Al considerar tanto el índice de biodegradabilidad obtenido como su intervalo de confianza se determina que estos lodos pueden ser sometidos a tratamiento de tipo biológico, con el objetivo de reducir su volumen y su riesgo sanitario.

Palabras clave: turbiedad, tratamiento, biológico, clarificación, sedimentación, dosificación.

Abstract

This article shows the results of applying Moringa Oleifera as a coagulant in turbidity removal processes for the purification of raw water. This generates sludge to which it is necessary to give them some type of treatment prior to their final disposal, therefore, it is necessary to determine their biodegradability. To determine the biodegradability of the sludge, a methodology was proposed in which sample water was used from the high plateau and conducted through the Xayá Pixcayá aqueduct to Guatemala City, dividing this sample water into five parts and then diluting it to five turbidity ranges. For each of the turbidity ranges, biochemical oxygen demand (BOD₅) and chemical oxygen demand (COD₅) were determined under optimal dosing conditions. The biodegradability index was obtained as a result of dividing the COD with the BOD₅, which resulted in the average biodegradability index of 2.23 with a confidence interval of 1.83 to 2.62, which indicates that these sludges are very biodegradable, using the criterion of Hernández & Galán (2004). When considering both the biodegradability index obtained and its confidence interval, it is determined that these sludges can be subjected to biological treatment, in order to reduce their volume and health risk.

KEY WORDS: turbidity, treatment, biological, clarification, sedimentation, dosage.

Introducción

Según diferentes autores la Moringa oleífera tiene propiedades purificadoras al ser aplicada en

determinadas condiciones al agua para consumo humano. Se sabe que es originaria del Himalaya y que desde ahí fue llevada en diferentes épocas a muchas regiones, y entre ellas, está la región Centroamericana.

Los procesos de potabilización en los que se utiliza son prácticamente artesanales, pues recolectan las semillas, se procesan y se aplican a las aguas que se necesitan clarificar y se puede decir que este proceso es también empírico pues en la mayoría de casos no se analiza la caracterización de las aguas crudas ni de las aguas que han sido tratadas.

Como resultado de la utilización de la Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbiedad se generan básicamente dos productos, por un lado el agua clarificada y por el otro los lodos que contienen todos los componentes de la turbiedad retirada.

Estos lodos necesitan ser tratados adecuadamente previo a su disposición final, por lo que, se hace necesario determinarles su biodegradabilidad.

El valor o índice de biodegradabilidad clasificará los lodos como muy biodegradables, biodegradables o poco biodegradables, y con esto se podrá determinar el tipo de tratamiento a aplicar según sea el caso.

Para determinar esta biodegradabilidad se tomó agua de muestra proveniente del altiplano y conducida por medio del acueducto Xayá Pixcayá. Agua de muestra que mediante el proceso de dilución se generaron cinco diferentes aguas de ensayo con determinada turbiedad cada una.

A cada una de estas aguas de ensayos se les determinó el volumen de lodos generados a dosis óptima del coagulante a base de Moringa oleífera y a esos lodos obtenidos se les determinó tanto la DQO con un valor de 18,352.00 y la DBO₅ con un valor de 10,949.40 para finalmente determinarles su biodegradabilidad por medio de la relación DQO/DBO₅ que es de 2.23.

Antecedentes

Tomando en cuenta que la biodegradabilidad se considera como la capacidad intrínseca de una sustancia a ser transformada en una estructura más simple por la vía microbiana, se considera que esta propiedad puede tener ventajas comparativas en el manejo y disposición final de los lodos generados en los procesos de potabilización, con el objetivo de reducir el daño que estos puedan causar tanto en suelos como en cuerpos de agua que las reciben.

Se realizó una revisión documental para determinar y recolectar información sobre la biodegradabilidad de aguas residuales. Esto con el objetivo de desarrollar

una metodología que permitiera determinar la biodegradabilidad de los lodos producidos en procesos de coagulación en agua potable. Se Determinó que no existe información específica a este respecto.

Adicionalmente, la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), mantiene una línea de investigación relacionada a la utilización de coagulantes orgánicos, como una alternativa para sustituir parcial o totalmente la utilización de coagulantes inorgánicos.

Dentro de las investigaciones realizadas en la ERIS, se menciona el trabajo de Alvares Suazo (2016), quien determinó que la semilla de tamarindo tiene una eficiencia remocional del 69.70%. En otras investigaciones se utilizó coagulante orgánico a base de yuca el cual mostró una eficiencia remocional del 58.56 % (Barrios, 2015) y para el caso de la Moringa Oleífera, la eficiencia remocional ha sido del 98.99% (Mejía Guillen, 1985) y del 68 % utilizando coagulante a base de Moringa pero en agua sintética (Turcios Flores, 2017).

En otras regiones también se han realizado investigaciones relacionadas al uso de la Moringa oleífera como coagulante.

De la Moringa Oleífera se tiene conocimiento que es originaria del Himalaya extendiéndose desde ahí hasta la India, Bangladesh, Pakistán, Afganistán, Sri Lanka, el sudeste asiático, península Arábiga, África del este y del oeste, sur de la Florida, el Caribe, Centro América y gran parte de América del Sur (Tórtola, 2015).

En Guatemala se han identificado fincas en donde para su explotación comercial le han dedicado grandes cantidades de área en Chiquimula, El Progreso, Escuintla, Guatemala, Jutiapa, Petén, Retalhuleu, San Marcos, Santa Rosa, Suchitepéquez y Zacapa.

Dentro de los usos conocidos de este árbol se tiene que en algunas regiones es utilizado como sombra en algunas fincas con plantaciones de café y como cerco vivo en otras fincas. Además tiene usos alimenticios y medicinales.

En cuanto a los usos sanitarios de la Moringa Oleífera, se ha utilizado en el tratamiento de aguas residuales y específicamente en la reducción de la DQO, en el control anti vectorial del zancudo *Aedes aegypti* en aguas estancadas y en la elaboración de carbón activado con la cascarilla.

También se utiliza en el ablandamiento de aguas duras y en la potabilización de agua para consumo humano utilizando sus propiedades coagulantes (Martín 2013).

La acción coagulante de la Moringa oleífera es realizada por determinadas proteínas floculantes que han sido extraídas de sus semillas. Se trata de proteínas catiónicas divalentes con una masa molar de 13 kDa (kilo Dalton) y puntos isoeléctricos entre 10 y 11 (Marin, y otros, 2013).

El mecanismo de coagulación está vinculado a la adsorción y neutralización de las cargas coloidales (Sáez, y otros, 2003). Siendo los puntos isoeléctricos en donde las proteínas o la materia coloidal precipitan más fácilmente porque tiene carga cero. (Saez, y otros, 2003).

Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó agua de muestra con turbiedad arriba de los 500 UNT procedente del altiplano y conducida por medio del acueducto Xayá Pixcayá

La metodología es la siguiente:

1 El coagulante a base de semilla de Moringa Oleífera, se obtuvo utilizando el procedimiento siguiente:

- i) Obtención de almendras de Moringa Oleífera
- ii) Descascarillado de almendras de Moringa Oleífera
- iii) Secado al sol por cinco días de las almendras obtenidas
- iv) Triturado de almendras
- v) Tamizado de almendras trituradas (harina de semilla de Moringa Oleífera)

2 Se determinó los rangos de turbiedad a investigar, con la finalidad de obtener aguas de ensayo con turbiedades entre 0 y 100 UNT, entre 101 y 200 UNT, entre 201 y 300 UNT, entre 301 y 400 UNT y entre 401 y 500 UNT.

Fue necesario esperar a que en la región de la captación del agua se dieran determinados tipos de tormentas las cuales generan turbiedades altas para poder obtener el agua de muestra con la turbiedad requerida.

3 La harina de Moringa Oleífera obtenida, fue mezclada con agua destilada, para alcanzar una solución madre al 7% de concentración.

4 Las características físico-químicas del agua de la muestra son:

- a) Temperatura de 24°C.

- b) Alcalinidad de 96 mg/l CaCO₃ (valor medio).
- c) Potencial de Hidrógeno (pH) 7.2
- d) Turbiedad de 689 UNT.

5 El agua captada fue sometida a un proceso de ajuste de turbiedad, con el objetivo de lograr turbiedades de 95, 185, 272, 378, y 460 UNT, con lo cual se cubren 5 rangos de turbiedad definidos para la presente investigación.

El ajuste realizado consistió en diluir el agua de muestra obtenido con agua de dilución proveniente del grifo del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología de la ERIS, aplicando un mayor volumen de agua de dilución al agua de la muestra con el objetivo de obtener agua de ensayo con valores bajos de turbiedad, y aplicando volúmenes bajos de agua de dilución para agua de ensayo con turbiedades mayores. Es importante resaltar, que la turbiedad más baja fue de 95 UNT y la más alta obtenida con el proceso de dilución fue de 460 UNT, valores que se encuentran por debajo del valor de turbiedad del agua obtenida como agua de muestra.

6 En cada una de estas jarras, se aplicó una dosis de coagulante orgánico diferente, colocando en la primera jarra una dosis de 40 miligramos por litro de coagulante orgánico, en la segunda una dosis de 70 miligramos por litro, en la tercera una dosis de 100 miligramos por litro, en la cuarta una dosis de 130 miligramos por litro, en la quinta una dosis de 160 miligramos por litro y en la sexta una dosis de 190 miligramos por litro.

7 Una vez aplicada la dosis de coagulante orgánico en cada jarra, se realizó la mezcla rápida durante un minuto a 100 RPM del equipo de prueba de jarras, luego se redujo la velocidad de agitación a 40 RPM durante 15 minutos simulando así el proceso de floculación, finalizando el proceso con la sedimentación durante 30 minutos.

8 Al finalizar el proceso de sedimentación, se determinó la turbiedad final de cada jarra utilizando un turbidímetro.

9 Con el valor de turbiedad final, se determinó la eficiencia de remoción, utilizando la ecuación mostrada a continuación:

$$\%ER = (Ti - Tf) / Ti * 100 \quad (1)$$

%ER: Eficiencia Remocional en %

Ti: Turbiedad inicial.

Tf: Turbiedad final.

10 Con los datos de eficiencia de remoción, se pudo identificar la jarra que presentaba mayor remoción de turbiedad, la cual presentaba también el mayor volumen de lodo sedimentado.

11 El lodo generado en el proceso de sedimentación en la jarra con mayor eficiencia de remoción de turbiedad, se trasvasó a un cono Imhoff, donde fue posible realizar la determinación del volumen de lodo generado.

12 Definido el volumen de lodo, se les retiró el agua sobrenadante, utilizando unas jeringas que permitieron dejar en los conos Imhoff únicamente los lodos.

13 A estos lodos generados les fue determinado el valor de demanda química de oxígeno –DQO- según los Standard Methods for the examination of Water and Wastewater.

También se tomó en cuenta The open reflux method (1998) y la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días -DBO5- según lo indicado en el Standard Methods for the Examination of Waster and Wastewater 5 day BOD Test (1998).

14 Utilizando el criterio de Hernández & Galán (2004) por medio de la relación DQO/DBO5 se determinó la biodegradabilidad de los lodos.

15 En relación a la definición del tamaño de la muestra de la investigación, se utilizaron los criterios del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones (CERTEC), adoptando los valores siguientes: un intervalo de confianza del 23%; K=1.28, que es un valor variable dependiendo del nivel de confianza adoptado y para el presente caso corresponde a un nivel de confianza del 80% y una desviación estándar del 20%. Con lo anterior se determinó que con 5 ensayos se obtendrá un nivel de confianza del 80%, quedando así establecido el tamaño de la muestra de la investigación.

16 Cada uno de los resultados obtenidos, fueron sometidos a un análisis estadístico, utilizando para ello el programa SPSS, en el cual se realizó la prueba de normalidad de datos, análisis de media, desviación estándar e intervalo de confianza.

17 Con el análisis estadístico realizado, se pudo definir con un nivel de confianza del 95% si los lodos producidos al utilizar un coagulante orgánico podían considerarse biodegradables.

Resultados

La dosis de solución madre (coagulante) establecido para cada uno de los cinco rangos de turbiedad se muestra en el tabla No. 1, en cuyos resultados se

identifican las menores turbiedades remanentes para cada ensayo de laboratorio realizado y que todas se encuentran por debajo de las 15 UNT, valor que la norma COGUANOR 29001 establece como límite máximo permisible para agua de consumo humano.

De esta tabla, se rescata que la dosis óptima para el rango de turbiedad de 95UNT sería de 40 miligramos por litro, la dosis óptima para el rango de turbiedad de 185UNT es de 100 miligramos por litro, para el rango de turbiedad de 272UNT es de 130 miligramos por litro, para el rango de turbiedad 378UNT es de 40 miligramos por litro y para el rango de turbiedad de 460UNT es de 100 miligramos por litro.

La tabla siguiente muestra para cada ensayo y cada jarra la turbiedad inicial y la turbiedad remanente al aplicar la prueba de jarras utilizando el coagulante a base de moringa oleífera.

Tabla 1. Turbiedad final obtenida para cinco rangos de turbiedad aplicando seis dosis de coagulante a base de Moringa Oleífera.

No. de Jarra	1	2	3	4	5	6
Solución Madre Aplicada (mg/l)	40	70	100	130	160	190
Turbiedad Inicial	Turbiedad Final (UNT)					
95	11	13	14.1	17.3	18.4	18.7
185	7.6	7.56	7.46	8.95	9.61	11
272	10	7.95	5.23	5.2	5.89	5.34
378	3.66	5.14	5.94	7.26	7.91	8.9
460	10.1	4.94	4.24	4.42	5.38	5.97

En la tabla 2, se muestra el resultado del porcentaje de remoción de turbiedad para los cinco rangos de turbiedad con seis dosis distintas del coagulante a base de Moringa oleífera. Se aprecia que para el rango de turbiedad de 95UNN se da la máxima remoción alcanzada fue de 88.42%, para el rango de turbiedad de 185UNT fue de 95.97%, para el rango de turbiedad de 272UNT fue de 98.02%, para el rango de turbiedad

378UNT fue de 99.03% y para el rango de turbiedad de 460UNT fue de 99.08%.

Tabla 2. Porcentaje de remoción de turbiedad para cada una de las turbiedades y dosis de solución madre utilizadas.

No. de Jarra	1	2	3	4	5	6
Solución Aplicada	40	70	100	130	160	190
Turbiedad Inicial	Turbiedad Final (UNT)					
95	88.4	86.3	85.1	81.7	80.6	80.3
185	95.8	95.9	95.9	95.1	94.8	94.0
272	96.3	97.1	98.1	98.1	97.8	98.1
378	99.0	98.6	98.4	98.1	97.0	97.6
460	97.8	98.9	99.1	99.1	98.8	98.7

En la tabla 3, se detalla el resultado obtenido de la medición de volumen de lodo generado al utilizar el coagulante a base de Moringa Oleífera, utilizándose las cinco dosis de coagulante óptima determinada para cada rango de turbiedad. De esta cuenta, para el rango de turbiedad de 95UNT se obtuvo un volumen de lodos de 2.00 cc/l, para el rango de turbiedad de 185UNT se obtuvo un volumen de 3.50 cc/l, para el rango de turbiedad de 272UNT este volumen fue de 7.50 cc/l, para el rango de turbiedad 378UNT se dio un volumen de 4.50 cc/l, y para el rango de turbiedad de 460UNT el volumen fue de 9.00 cc/l.

La tabla muestra también el rango de la turbiedad considerado, la turbiedad inicial y la dosis de solución madre aplicada.

Tabla 3: volúmenes de lodos generados para cada rango de turbiedad.

Volumen de lodos			
Rango de turbiedad	Dosis aplicada (mg/l)	Turbiedad Inicial (UNT)	Volumen de lodos (cc/l)
0-100	40	95	2.00

Volumen de lodos			
Rango de turbiedad	Dosis aplicada (mg/l)	Turbiedad Inicial (UNT)	Volumen de lodos (cc/l)
101-200	100	185	3.50
201-300	130	272	7.50
301-400	40	378	4.50
401-500	100	460	9.00

La tabla 4 presenta los resultados obtenidos luego de analizar la demanda química de oxígeno (DQO) a cada uno de los lodos resultantes del proceso de analizar la máxima remoción de turbiedad.

Esta tabla presenta además la dosis de solución madre que fue aplicada y los resultados estadísticos de la media, de la desviación estándar y del intervalo de confianza.

Tabla 4. Media, desviación estándar e intervalo de confianza de la DQO de los lodos generados.

Demanda Química de Oxígeno			
Intervalo de Turbiedad	Turbiedad Inicial	Moringa	
		Media	Desviación Estándar
0-100	95	13,020.00	28,430,224.00
101-200	185	26,760.00	70,694,464.00
201-300	272	13,700.00	21,641,104.00
301-400	378	10,880.00	55,830,784.00
401-500	460	27,400.00	81,866,304.00
t0.10=	1.53320	18,352.00	8,038.39
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		15,270.87	
Límite Superior		21,433.13	

La tabla 5 presenta los resultados obtenidos luego de analizar la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO5) a cada uno de los lodos resultantes del proceso de analizar la máxima remoción de turbiedad.

Esta tabla contiene también la dosis de solución madre que fue aplicada y los resultados estadísticos de la media, de la desviación estándar y del intervalo de confianza.

Tabla 5. Media, desviación estándar e intervalo de confianza de la DBO5 de los lodos generados.

Demanda Bioquímica de Oxígeno			
Intervalo de Turbiedad	Turbiedad Inicial	Sulfato de Aluminio	
		Media	Desviación Estándar
0-100	95	4,760.00	2,958,400.00
101-200	185	5,560.00	846,400.00
201-300	272	5,740.00	547,600.00
301-400	378	10,440.00	15,681,600.00
401-500	460	5,900.00	336,400.00
t0.10=	1.5332063	6,480.00	2,256.68
Intervalo de Confianza			
Limite Inferior		5,615.01	
Limite Superior		7,344.99	

Finalmente la tabla 6 presenta los resultados de analizar la relación DQO/DBO5 con la cual se determina la biodegradabilidad de los lodos generados para cada una de las turbiedades iniciales analizadas.

El criterio de Hernández & Galán (2004) indica que si la relación es menor a 2.50 el lodo es muy biodegradable, si la relación esta entre 2.50 y 5.00 el lodo es biodegradable y si es mayor a 5.00 el lodo es poco biodegradable.

Se presentan también los datos estadísticos de la media, de la desviación estándar parcial y total y el correspondiente intervalo de confianza.

Tabla 6. Media, desviación estándar e intervalo de confianza para la biodegradabilidad (DQO/DBO5).

Biodegradabilidad			
Intervalo de Turbiedad	Turbiedad Inicial	Moringa	
		Media	Desviación estándar
0-100	95	2.46	0.05
101-200	185	1.50	0.53
201-300	272	2.07	0.02
301-400	378	3.87	2.70
401-500	460	1.23	0.99
t0.10=	1.5332063	2.23	1.04
Intervalo de Confianza			
Limite Inferior		1.83	
Limite Superior		2.62	

Análisis de resultados

De los datos relativos a la turbiedad remanente que se muestran en la tabla 1 se puede notar que todos están bajo las 15 UNT recomendada como la turbiedad máxima permisible.

De la tabla 2 se puede notar que las eficiencias emocionales están entre el 88.42% y el 99.08%, notando que entre más alta es la turbiedad más eficiencia Remocional presenta el coagulante a base de Moringa oleífera.

En el caso de la producción de lodos, como puede verse en la tabla 3, estos volúmenes de lodos van desde los 2 cc/l para una turbiedad de 95 UNT hasta los 9 cc/l para una turbiedad inicial de 460 UNT. Resultado que resulta ser congruente pues a mayor turbiedad mayor carga contaminante a remover.

En relación a la demanda química de oxígeno-DQO-, en la tabla 4 se presenta una media de 18,352.00 mg/l, un límite inferior de 15,270.87 y un límite superior de 21,433.13 mg/l.

En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno-DBO₅-, la tabla 5 presenta una media de 10,949.40 mg/l con una desviación estándar de 8,527.92 mg/l, presentando un límite inferior de 7,680.63 mg/l y un límite superior de 14,218.17 mg/l.

La biodegradabilidad analizada en la tabla 6, y presenta una media de 2.23 con una desviación estándar de 1.04 presenta también un límite inferior de 1.83 y un límite superior de 2.62. Por lo que la media resulta ser menor que 2.50 y según Hernández & Galán (2004) este lodo es muy biodegradable.

Conclusiones

La eficiencia Remocional de aplicar coagulante a base de Moringa Oleífera es mayor cuando la turbiedad es mayor, siendo para el presente caso la eficiencia Remocional de 88.42 % la más baja y de 99.08% la más alta.

Para las turbiedades del agua de ensayo analizadas, la producción de lodos es de 2 cc/l para agua de ensayo con una turbiedad inicial de 95 UNT y de 9cc/l para agua de ensayo con una turbiedad inicial de 460 UNT.

El resultado de analizar la demanda química de oxígeno (DQO) es de 18,352.00 mg/l con una desviación estándar de 8,038.39 mg/l, presentando un límite inferior de 15,270.87 mg/l y un límite superior de 21,433.13 mg/l.

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno-DBO₅-, es de 10,949.40 mg/l con una desviación estándar de 8,527.92 mg/l, presentando un límite inferior de 7,680.63 mg/l y un límite superior de 14,218.17 mg/l.

Al evaluar la biodegradabilidad, esta presenta un valor de 2.23 con una desviación estándar de 1.04 y presenta también un límite inferior de 1.83 y un límite superior de 2.62. Siendo la media resultante con un valor menor a 2.50 y según Hernández & Galán (2004) este lodo es muy biodegradable.

Agradecimientos

A todo el personal administrativo y docente tanto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria –ERIS- como del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Tabarini Molina” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Referencias

- Alvarez Suazo, T. Y. (2016). Uso de la semilla de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilizaciones. Guatemala. ERIS.
- Barrios, L. R. (2015). Uso del almidón de yuca como sustituto de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización. Guatemala: ERIS.
- Bonal Ruíz, R., Rivera Odio, R. M. (2012). A healthy option for the well being. Santiago de Cuba.
- COGUANOR. (1985). Agua Potable. Especificaciones. *COGUANOR NGO 29 001:99. 1a Revisión*. Guatemala.
- Corado Guzmán, Mario Antonio. (2018). Análisis comparativo del volumen y biodegradabilidad de los lodos resultantes de utilizar la Moringa Oleífera como coagulante orgánico y el Sulfato de Aluminio como coagulante inorgánico en el tratamiento de agua potable. ERIS.
- Folkard, G., & Sutherland, J. (1996). Moringa Oleífera un árbol con enormes potenciales (Volumen 8). Turrialba, Costa Rica.
- Gómez Gutiérrez, K. R. (2010). Eficiencia del coagulante de la semilla de moringa oleífera en el tratamiento de agua con baja turbidez. Honduras.
- Hernández Lehmann, A., & Galán Martínez, P. (2004). Manual de depuración uralita, Madrid. España.
- Martín, C., Martín, G., Hernández, E., Fernández, T., & Puls, J. (2013). Potenciales Aplicaciones de la Moringa Oleífera. Matanzas, Cuba.
- Mejía Guillén, J. M. (1985). La utilización de la semilla de la moringa como coagulante natural. Guatemala: ERIS.
- Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz, A. (2000). Uso de la Moringa Oleífera como coagulante en la potabilización de las aguas. Maracaibo, Venezuela.
- Olson Marc E. & Fahey Jed W. (2011). Moringa Oleífera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas.
- Pedroza, N., & Cruz, W. (2012). Evaluación de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural para el tratamiento de agua en el departamento del Meta. Bogotá, Colombia.

Turcios Flores, E. G. (2017). Uso de la semilla de Moringa como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano. Guatemala. ERIS.

Información del Autor

Ingeniero Civil Colegiado Activo No. 3,551, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 1,992. Con experiencia desde 1982 en diseño, construcción, Operación y Mantenimiento, Supervisión y Construcción de Acueductos (Convencionales y No Convencionales), Drenajes Sanitarios, Saneamiento Básico Rural (letrinas), Obras de Tratamiento de Agua Potable y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales, industriales y domiciliarias, estudios de infiltración en suelos. También con experiencia en Topografía, Obras Civiles, Mecánica de Suelos, Construcción y Mantenimiento de Vías pavimentadas y no pavimentadas. Diplomado en Evaluación de Impacto Ambiental. Maestro en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- de la Universidad de San Carlos de Guatemala.