

Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera¹

Josué Rodríguez Santos², Doménica Ortiz Ayoví³, Esther Rodríguez Baquerizo⁴,
Eduardo Santos Baquerizo⁵

Resumen

Introducción El agua en estado natural contiene diferentes partículas, entre ellas, el suelo y microorganismos impiden que sea apta para el consumo humano, el agua en estas condiciones causa diversas enfermedades hídricas. En países de América Latina y el Caribe, estas enfermedades se encuentran entre las diez causas más frecuentes de defunción.

El diseño del filtro ecológico (lento ascendente), **Objetivo** potabilizar el agua de comunidades rurales sin emplear sustancias químicas, utilizadas por la ingeniería sanitaria de forma tradicional en la potabilización.

Metodología. La aplicación de este proyecto de investigación se ejecutará

en la comunidad de Pichiyacu de los Cayapas, ubicada en el Ecuador, provincia de Esmeraldas, cantón Eloy Alfaro. **Resultado.** Investigaciones científicas han demostrado que la semilla de la Moringa oleifera, es una alternativa amigable con el ambiente y el ser humano, debido a que presenta eficiencias sobre el 90% en la eliminación de la turbidez, y hasta el 100% en la remoción de coliformes fecales. **Conclusiones.** El presente proyecto considera los parámetros de calidad del agua en la confluencia de los ríos Santiago y Ónzole, en la provincia de Esmeraldas, cantón Eloy Alfaro, parroquia San José, comunidad Pichiyacu de Los Cayapas, la cual cuenta con una población estimada de 300 familias.

1 Artículo original generado en el Laboratorio Piloto de Hidráulica – Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas – Universidad de Guayaquil, Fecha de realización entre octubre 2017 – junio 2018

2 Ingeniero Civil, MSc., Docente Titular Agregado, Universidad de Guayaquil, josue.rodriguez@ug.edu.ec, josue-eddy@hotmail.com, ORCID 0000-0002-1195-7153, ID Scopus 57201856510

3 Estudiante de Ingeniería Civil, domenica.ortiza@ug.edu.ec, domenicaortiz24@hotmail.com, ORCID 0000-0003-2977-2357

4 Estudiante de la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, esther.rodriguez@ug.edu.ec, rodriguezbaquerizoesther.errb@gmail.com – Universidad de Guayaquil, ORCID 0000-0001-9754-5266

5 Ingeniero Civil, MSc., Docente Titular Principal, Universidad de Guayaquil, eduardo.santosb@ug.edu.ec, ORCID 0000-0002-7537-0626, ID Scopus 57192089763

Artículo recibido: 1/05/2018; Artículo aprobado: 19/07/2018

Autor para correspondencia, Josué Rodríguez Santos, E-mail: josue-eddy@hotmail.com

Palabras clave: Moringa oleifera, remoción de turbidez y coliformes fecales, diseño filtro ecológico.

A watermaker ecological filter design for rural communities, using Moringa Oleifera

Abstract

Introduction. Water in its natural state contains different particles, including soil and microorganisms that prevent it from being suitable for human consumption, water in these conditions causes various waterborne diseases. In Latin American and Caribbean countries, these diseases are among the ten most frequent causes of death.

The design of the ecological filter (slow up). **Objective.** To make water available in rural communities without using chemical substances, used by sanitary engineering in a traditional manner for purification. **Methodology.** The application of this research project will be executed in the community of Pichiyacu de los Cayapas, located in Ecuador, province of Esmeraldas, canton Eloy Alfaro. **Result.** Scientific research has shown that the seed of the Moringa oleifera, is a friendly alternative to the environment and human being, because it has efficiencies over 90% in the elimination of turbidity, and up to 100% in the removal of coliforms Fecal **Conclusions.** This project considers the water quality parameters at the

confluence of the Santiago and Ónzole rivers, in the province of Esmeraldas, Eloy Alfaro canton, San José parish, Los Cayapas Pichiyacu community, which has an estimated population of 300 families. .

Keywords: Moringa oleifera, removal of turbidity and fecal coliform, design ecological filter.

Um projeto de filtro ecológico watermaker para comunidades rurais, utilizando Moringa Oleifera

Resumo

Introdução A água em seu estado natural contém diferentes partículas, incluindo o solo e microorganismos que impedem que ela seja adequada para consumo humano; a água nessas condições causa várias doenças transmitidas pela água. Nos países da América Latina e Caribe, essas doenças estão entre as dez causas mais frequentes de morte.

O design do filtro ecológico (ascendente lento). **Objetivo** Tornar a água disponível em comunidades rurais sem o uso de substâncias químicas, usadas por engenharia sanitária de maneira tradicional para purificação. **Metodologia.** A aplicação deste projeto de pesquisa será executada na comunidade de Pichiyacu de los Cayapas, localizada no Equador, província de Esmeraldas, cantão Eloy Alfaro. **Resultado** A pesquisa mostrou

que a semente de Moringa oleifera é uma alternativa amiga do ambiente e os seres humanos, uma vez que apresenta as eficiências mais de 90% na remoção de turvação, e até 100% na remoção de coliform Fecal **Conclusões** Este projeto considera os parâmetros de qualidade da água na confluência dos rios Santiago e Onzole na província de Esmeraldas,

Canton Eloy Alfaro, paróquia San Jose, comunidade Pichiyacu Los Cayapas, que tem uma população estimada de 300 famílias .

Palavras chave: Moringa oleifera, remoção de turbidez e coliformes fecais, filtro de design ecológico.

Introducción

El agua, recurso vital que se encuentra en diferentes estados sobre la superficie de la tierra, y conforma aproximadamente el 70% del planeta. De este porcentaje el 97.39% son océanos y mares; el agua dulce está representada en grandes capas de hielo por un 2.01%, y tan sólo el 0.003% está disponible para el consumo humano de manera superficial [1].

En este sentido, se puede considerar al agua como un recurso escaso, no sólo por su disponibilidad sino también por su inadecuada distribución [2]. La ONU, asegura que alrededor de 1.2 billones de personas no tienen acceso al agua potable [3], cabe señalar que existen sitios con disponibilidad de agua, pero se encuentra con altos niveles de contaminación. Lo que hace propenso a los seres humanos, a las enfermedades que se pueden contraer debido al agua no potabilizada.

El agua está ligada directamente con el desarrollo de distintas formas de vida, en el caso particular de los seres humanos, dado que para que se encuentre en condiciones de ser consumida debe

experimentar una serie de procesos convencionales para su potabilización, como la captación, canalización, floculación, decantación, filtración, cloración o desinfección, alcalinización y distribución [4].

La turbidez es uno de los parámetros más importantes en la calidad del agua de consumo, y su remoción uno de los principales objetivos de su tratamiento [5]; La técnica que es usada comúnmente para la desestabilización de impurezas coloidales y disueltas, se conoce como coagulación, ésta produce agregados de flóculos grandes que pueden ser removidos mediante procedimientos como la filtración y clarificación del agua [6]; así, en el transcurso del tratamiento se aplican coagulantes químicos como sulfato de aluminio, sulfato férrico y polielectrolitos sintéticos para eliminar la turbidez al máximo [7] [8].

El tratamiento del agua es el conjunto de técnicas que se realizan sobre el agua cruda, particularmente en este estudio sobre aguas superficiales, con el fin de eliminar o reducir contaminantes bacteriológicos y lograr que sus características físicas y químicas cumplan lo que se encuentra estipulado

en las normas que la regulan [9]. Los parámetros físicos y químicos que debe cumplir el agua para que esta sea apta para el consumo humano los determina la Normativa de Calidad Ambiental, en el Libro VI, donde se indican los criterios de calidad y los límites máximos permisibles, para parámetros relacionados con la presencia de metales, aceites, bacterias, color, olor, sabor, turbiedad entre otros [10].

En varios países de América Latina y el Caribe, las enfermedades a consecuencia del agua no potabilizada se encuentran entre las diez causas más frecuentes de defunción. [11]

La técnica más convencional en las plantas de tratamiento de agua es el uso del sulfato de aluminio, el cual es cuestionado por diferentes estudios que indican que sus residuos, provocan enfermedades neurodegenerativas. [9][12][13][14][15].

Se han realizado investigaciones que demuestran que el aluminio absorbido se acumula en varios tejidos como el hígado, huesos, cerebro, además interfiere en el transporte de hierro produciendo anemia, también disminuye la absorción del calcio originando dolores, deformaciones y fracturas en los huesos [16] [17].

Sin embargo, del amplio rango de coagulantes que existen para el tratamiento de aguas, sobre todo para eliminar la turbidez y desinfectar la misma, existen los llamados coagulantes naturales como el exudado gomoso producido por *Samanea saman* [18], la corteza del *Cactus lefaria* [19] y las semillas sin grasa de *Moringa oleifera* [20] [15].

El árbol de la *Moringa oleifera*, originario del sur del Himalaya se encuentra también en América [21] y conocido mundialmente como “el árbol milagroso” [22] [23], debido a que es resistente a aquellas zonas de extrema pobreza de suelos, zonas áridas y semiáridas. Los extractos de todas las partes de la planta contienen propiedades farmacológicas, reconocidas por la comunidad científica. Las semillas presentan actividad antimicrobiana contra hongos y bacterias [24] además, su acción bactericida asegura su uso en la potabilización de agua. [25] [26] [27] [28] [29], su semilla es de vital importancia para la purificación y eliminación de bacterias entre otros. [21]

La semilla de *Moringa oleifera*, debido a su origen natural se convierte en la mejor alternativa para la eliminación de la turbidez y bacterias que se encuentran suspendidas en el agua superficial, como son ríos, lagos, etc. Que son las fuentes de agua utilizadas sobre todo en las comunidades rurales o donde no existe una red de agua potable.

Experimentos realizados con la semilla de *Moringa oleifera* han demostrado que elimina en un porcentaje alto los niveles de turbiedad y color. Un estudio realizado por Angelica Marquetotti, Marcelo Vieira, Gabriel Silva y otros (2010), concluyó que la remoción de la turbiedad, con un tiempo de agitación de 60 minutos, alcanzó una eficiencia del 99%. El valor inicial de la turbiedad de un agua residual fue de 912 NTU, luego del último paso del proceso, éste valor decreció a 1.96 NTU.

Un estudio realizado en Brasil, concluyó que el efecto de la semilla de *Moringa*

oleifera es similar al del sulfato de aluminio, pero de manera natural en la coagulación de aguas [30]. La acción coagulante es realizada por determinadas proteínas floculantes que han sido extraídas de las semillas de *Moringa oleifera*. Se trata de proteínas catiónicas divalentes con una masa molar de 13 kDa y puntos isoeléctricos entre 10 y 11. El mecanismo de coagulación está vinculado a la adsorción y neutralización de las cargas coloidales. [31] [32] [28]

Investigadores brasileños han registrado que para concentraciones de 0.4 g L^{-1} en un tiempo de 2 horas, la remoción de la turbidez es de un 98 % y la eliminación de coliformes fecales es del 100 % [33]

Hoy en día se cuenta con una mayor variedad de procesos de filtración [34], teniendo así:

1. Filtros con Flujo descendente
2. Filtros con flujo ascendente
3. De flujo mixto
4. Filtros de diatomáceas

De los filtros antes citados en la presente investigación se considera la filtración lenta, para ratas menores a $12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Filtros lentos ascendentes

Los filtros lentos ascendentes, usados en Escocia desde la última Guerra Mundial, obteniéndose una eliminación

de bacterias hasta el 100% para contaminaciones de NMP (Número más probable) 180. [34]

En el sistema de experimentación de la semilla *Moringa oleifera*, la entrada de agua se dirigirá al filtro lento ascendente en donde se realiza el mayor proceso de potabilización del agua.

El Filtro Lento Ascendente en el proceso de potabilización, presenta su mayor efectividad para niveles de turbiedad que no sobrepasan los 100 NTU (significado de NTU), y cuando el contenido de color no es alto (mayor a 50 Hazen); De datos tomados por la SENAGUA, el Río Santiago AJ Río Cayapas, presenta una turbiedad de 29.7 NTU y color de 41 Hazen [35].

Materiales y métodos

La aplicación de este proyecto de investigación se ejecutará en la comunidad de Pichiyacu de los Cayapas, ubicada en el Ecuador, provincia de Esmeraldas, cantón Eloy Alfaro. Esta comunidad ha sido considerada para la realización de este estudio tomando en cuenta la cantidad de enfermedades que se suscitan a diario, a causa del inadecuado tratamiento del agua de consumo humano, y además considerando la vulneración de sus derechos de acceso a agua de calidad, descrita en la Ley de Recursos Hídricos, y en la Constitución de la República del Ecuador en los artículos, 12, 313, 318 [36].



Figura N° 1. Localización del área de aplicación
Fuente: Propia

Diseño del filtro

Para aplicar las propiedades de la Moringa oleifera se lo realizará mediante un Filtro Lento Ascendente que constará de 3 capas, las cuales son grava de diferentes diámetro y arena.

El filtro de grava disminuye la carga de material en suspensión con diámetros de hasta 10 mm, antes de la filtración en arena. Para el diseño se considera 5 personas por familia y una dotación 200 l/hab/día, para un caudal “Q” = 0.012 l/s.

Las normas recomiendan una velocidad de filtración “Vf” de 0.10 a 0.60 m/h, en razón inversa a la calidad del agua, para nuestro caso se asume una Vf = 0.40 m/h

El área del filtro se determina aplicando la ecuación:

$$A = \frac{3600 * Q}{V_f} \quad \text{Ec. (1)}$$

A = 0.108 m², el tanque de PVC de 55 galones con un área de 0.19 m², cumpliendo este requerimiento.

El filtro convencional considera 3 tramos, longitudes de estos están en función del grado de turbidez a eliminar, los cuales son determinados así:

$$L_i = \frac{C_i - C_o}{a} \left(\frac{C_i}{C_o} \right) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

C_i = Turbidez a la salida

C_o = Turbidez a la entrada

L_i = Longitud del tramo

a = Módulo de impedimento

El módulo de impedimento es función de la velocidad de filtración y del diámetro de la grava. El CEPIS (Pan-American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences), determinó los valores del módulo de impedimento, presentados en la siguiente tabla:

Tabla N° 1. Módulos de impedimento
Fuente: cepis

Vf “m/h”	Diámetros de grava “cm”		
	1 – 2	2–3	3–4
0,10	1.00 – 1.40	0.70 – 0.90	0.40 – 0.80
0,20	0.70 – 1.00	0.60–0.80	0.30 – 0.70
0,40	0.60 – 0.90	0.40 – 0.70	0.25 – 0.60
0,80	0.50 – 0.80	0.30 – 0.60	0.15 – 0.50

De aplicar la Ec. (2), se presenta los siguientes resultados:

Tabla N° 2. Longitudes del filtro–fuente: propia

Tramo	Rango		Grava (cm)	a	Li (m)	Observación
	Co U.T.	CI U.T.				
I	900	380	3 – 4	0.43		No aplica
II	380	135	2 – 3	0.55		No aplica
III	135	43	1 – 2	0.90		No aplica

Nota.- Al ser la turbidez del agua de Río Santiago AJ Río Cayapas 29.7 NTU, se asume alturas mínimas para el filtro.

La primera capa será de grava de 2 a 3 cm con un espesor de 20 cm y un coeficiente de permeabilidad de 0.1 (cm/s) [34]; la segunda capa es de piedra chispa de 0.5 cm con un espesor de 10 cm y la tercera corresponde a la arena con un espesor 30 cm y un coeficiente de permeabilidad que va de $10^{-2} - 10^{-5}$ m/s.

El filtro actúa sobre la calidad física, química y bacteriológica del agua superficial, sin que exista la necesidad de adicionar compuestos químicos. El proceso de potabilización consiste en colocar en el fondo del tanque de almacenamiento una capa de grava fina y arena que esta permita que actúe como filtro lento; las capas filtrantes de grava, piedra chispa y arena disminuyen su grosor a medida que se asciende [37]. Se introduce el agua por los drenes y se deja que ascienda a través del lecho filtrante y se debe recolectar en la parte superior.

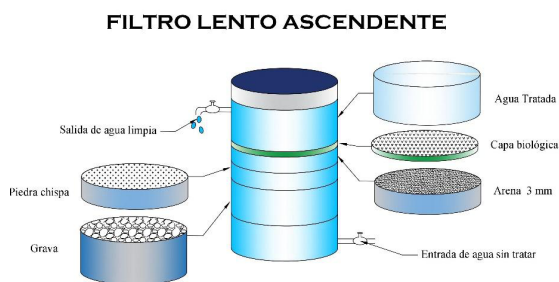


Figura N° 2 Capas filtrantes de Sistema de Filtro Lento Ascendente
Fuente: Propia – FCMF-UG

La fibra de coco usada como capa biológica en este filtro ayuda en el proceso del tratamiento biológico y físico del caudal que ingresa. el

influyente escurre a través de una cama de material poroso orgánico (turba, paja, pasto, madera, etc.) de forma lenta, lo cual permite la colonización de la cama por microorganismos adaptados a los contaminantes presentes en el agua, así como la retención física de los mismos; los microorganismos forman una biopelícula que se transforma en el principal instrumento de depuración. [40]

meses aproximadamente o cuando la pérdida de carga alcance a 1.20. El nivel de agua sobre la arena no debe ser menor de 60 cm, cuando se realiza el lavado.

La arena requiere muy poco o ningún lavado y dura indefinidamente ya que no hay desagüe o pérdida [34]

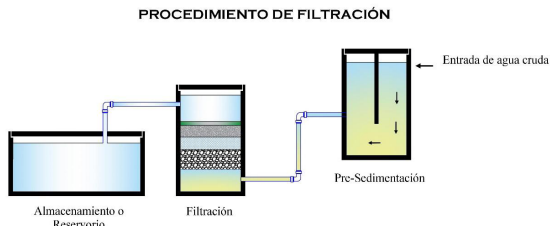


Figura N° 3. Procedimiento de filtración–

Fuente: Propia – FCMF-UG

El lavado se efectúa abriendo la válvula de drenaje durante 5min, cada dos

Resultados

En el año 2011, la Secretaría Nacional del Agua, realizó un informe técnico sobre la calidad del agua en los cantones San Lorenzo, y Eloy Alfaro en la provincia de Esmeraldas, de donde se ha tomado los valores para realizar la comparación con los parámetros máximos permisibles establecidos en la Normativa Ambiental, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla N° 3. Parámetros de los ríos santiago y río cayapas -

Parámetros	Expresado como	Unidades	Río Santiago AJ Río Cayapas	Límites máximos Permisibles
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		11	600
Coliformes Totales	nmp/100 ml		140	3000
Color	Color Real	Unidades de color	41	100
Oxígeno Disuelto	O.D	mg/l	5.36	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Potencial Hidrógeno	pH		6.79	6 – 9
Sólidos Totales		mg/l	66	1000
Turbiedad		UTN	29.7	100

Fuente: Senagua (2011) – Normativa Ambiental
NM : Parámetro NO medido

Se puede observar que el tramo analizado del Río Santiago cuenta con valores menores a los máximos permisibles por lo que el tratamiento convencional para la desinfección y eliminación de la turbidez resultaría efectivo; la presente investigación propone potabilizar el agua

mediante el tratamiento con la semilla de *Moringa oleifera* junto con el filtro lento ascendente. Estudios realizados por el Ing. Pedro Antonio Estrella Pesantes, MSc. [7]., para el agua del Río Daule–Guayas – Ecuador, presenta los promedios siguientes:

Tabla N° 4. Resultados promedios después de la aplicación de la semilla *Moringa oleifera*

Fecha	Tiempo de experimento (h)	Turbidez	Eficacia	Caudal (l/min)	Caudal (l/seg)
15 – 16 / 09 / 2016	24	5.76	87.63%	0.05964	0.0009936

Fuente: Senagua (2011) – Normativa Ambiental
 NM : Parámetro NO medido

Discusión

Investigaciones científicas, entre ellas, la Universidad Autónoma de Chihuahua–México, Universidad de Río Grande del Norte – Brasil, Universidad de Pensilvania, Universidad de Miami– Estados Unidos de Norte América, demuestran los beneficios de la *Moringa oleifera* [33], [30], [38], [39]

El PVC requiere muchos años para su degradación, en específico el polietileno, componente en el 100% de los tanques a utilizar en el diseño del filtro lento ascendente; se considera un termoplástico fuerte, ligero y con muy buena resistencia química, las paredes lisas del tanque evitan el crecimiento de bacterias; para el uso como almacenamiento estos tanques garantizan hermeticidad, evitando la contaminación del agua.

Conclusiones

El costo de implantación, operación y mantenimiento del filtro lento ascendente es bajo, dado que los materiales como la arena, piedra y estopa de coco, se obtienen del mismo entorno y el mantenimiento puede ser realizado por la misma familia.

La *Moringa oleifera* es una alternativa ecológica que actúa como coagulante para la desinfección y eliminación de coliformes fecales presentados en el agua cruda de hasta un 100%, es decir, sin el uso adicional de químicos.

La cáscara de la *Moringa oleifera* al contener mejores propiedades que el sulfato de aluminio, por procedimiento natural, elimina también la turbidez en porcentajes superiores al 90%, generando aguas con valores de turbidez menores a 5,80 NTU. Cabe señalar que estudios científicos relacionan a los residuos del sulfato de aluminio

con el desarrollo de la enfermedad del Alzheimer

Agradecimientos

Al Ing. Andrés Rivera B., por su aporte en el diseño del filtro lento ascendente ecológico.

Referencias

- [1] J. Rodríguez Baquerizo, J. Córdova Rizo, M. Baquerizo Cabrera y J. Rodríguez Santos, «Parámetros básicos que determinan la calidad del agua subterránea para uso agrícola,» Universidad de Guayaquil, p. 1, 2017.
- [2] F. R. Rijsberman, «Water scarcity: Fact or fiction?,» *Agric. Water Manag.*, vol. 80, no. 1–3, pp. 5–22, Feb. 2006.
- [3] J. Friedhuber, «Importancia.org,» Embeta LTDA, [En línea]. Available: <https://www.importancia.org/agua.php>. [Último acceso: 27 Julio 2017].
- [4] J. A. Gutiérrez-Rosero, Á. I. Ramírez-Fajardo, R. Rivas, B. Linares y D. Paredes, «Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 13, n° 25, p. 248, 2014.
- [5] World Health Organization, *Guidelines for drinking-water quality*, Third. Geneva: World Health Organization, 2004.
- [6] B. Gao, H. Hahn y E. Hoffmann, «Evaluación del compuesto de polímero de silicato de aluminio como coagulante para el tratamiento del agua,» *Investigación del agua*, vol. 36, n° 14, pp. 3573-3581, 2002.
- [7] P. A. Estrella Pesantes, *Evaluación de filtro de arena usando moringa oleífera, para remoción de turbidez en agua de río daule*, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2016.
- [8] J. QianJiang y B. Lloyd, «Progress in the development and use of ferrate(VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment,» *Water Research*, vol. 36, pp. 1397–1408, 2002.
- [9] J. M. Cogollo Florez, «Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de Aluminio,» *DYNA*, vol. 78, n° 165, p. 1, 2010.
- [10] M. d. Ambiente, «Norma de Calidad Ambiental, y descarga de Efluentes: Recurso Agua,» de Libro VI–Anexo 1, Quito, 2014, pp. 10–11.
- [11] A. M. Del Puerto Rodríguez, M. C. Rojas y A. M. Iglesias Fernández, «Calidad del agua y enfermedades de transmisión digestiva,» *Revista Cubana de Medicina General Integral*, vol. 15, n° 5, p. 2, 1999.
- [12] R. Quintana, «Cómo tratar el agua. Documento técnico,» Coca Cola de Colombia, Bogotá D.C., 2000.

- [13] J. Stauber, L. Florence, C. Davies, M. Adams y S. Buchanan, «Bioavailability of alin alum treatment drinking water,» J. American Water Works Assoc, vol. 91, pp. 84-93, 1999.
- [14] A. Ndabigengesere, S. Narasiah y B. Talbot, «Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using Moringa oleifera seed,» Water Research, vol. 29, pp. 703-710, 1995.
- [15] Y. Caldera, I. Mendoza, L. Briceño, J. García y L. Fuentes, «Eficiencia de las semillas de Moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua,» Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, vol. 41, nº 2, pp. 244-254, 2007.
- [16] M. E. González, Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas, Valencia, Venezuela: Universidad de Carabobo, 2006.
- [17] L. F. Ojeda Báe, Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *Tropaeolum Tuberosum*, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS, Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2012.
- [18] G. González, M. Chávez, D. Mejías, M. Más, Y. Rubí, N. Fernández y G. León, «Uso del exudado gomoso producido por *Samanea Saman* en la potabilización de las aguas,» Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, vol. 29, pp. 14-22, 2006.
- [19] D. Martíne, M. Chávez, A. Díaz, E. Chacín y N. Fernández, «Eficiencia del Cactus *Lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de las aguas,» Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, vol. 26, pp. 27-33, 2003.
- [20] I. Mendoza, N. Fernández, G. Ettiene y A. Díaz, «Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas,» Ciencia , vol. 8, pp. 243-254, 2000.
- [21] A. Pérez, T. Sánchez, N. Armengol y F. Reyes, «Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal,» Pastos y Forrajes, vol. 33, nº 4, 2010.
- [22] K. A. Ghebremichael, K. R. Gunaratna, H. H. Brumer y G. Dalhammar, «A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed,» Water Research, vol. 39, pp. 2338-2344, 2005.
- [23] J. J. Ferial Díaz, S. Bermúdez Roa y A. M. Estrada Tordecilla, «Eficiencia de la semilla Moringa Oleifera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*,» Producción + Limpia, vol. 9, nº 1, p. 2, 2014.
- [24] P. M. Pinheiro Ferreira, D. F. Farias, J. T. De Abreu Oliveira y A. d.

- F. Urano Carvalho, «Moringa oleifera : compuestos bioactivos y potencial nutricional,» *Revista de Nutrição*, vol. 21, nº 4, 2008.
- [25] G. Folkard y J. Sutherland, «Moringa oleifera-a tree and a litany of potential,» *Agroforestry Today*, vol. 8, p. 5, 1996.
- [26] S. Jahn, «Using Moringa seeds as coagulants in developing countries,» *Water Works Assoc*, vol. 80, p. 43, 1988.
- [27] S. Muyibi y L. Evison, «Moringa oleifera seeds for softening hard water.,» *Water Research*, vol. 29, p. 1099, 1995.
- [28] A. Ndabigengesere, K. Narasiah y B. Talbot, « Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera.,» *Water Research*, vol. 29, p. 703, 1995.
- [29] C. Martín, G. Martín, A. García, T. Fernández, E. Hernández y J. Puls, «Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica,» *Pastos y Forrajes*, vol. 36, nº 2, 2013.
- [30] P. G. L. R. F. Lima, J. B. Paulo y M. A. Duarte, «Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad,» *Información tecnológica* , vol. 20, nº 5, pp. 3-12, 2009.
- [31] H. Bhuptawat, G. Folkard y S. Chaudhari, «Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating M. oleifera seed coagulant,» *J. Hazardous Mat*, vol. 142, p. 477, 2007.
- [32] A. Santos, «Isolation of a seed coagulant M. oleifera lectin. Process,» *Biochem*, vol. 44, p. 504, 2009.
- [33] O. Estrada-Hernández, O. A. Hernández-Rodríguez y V. M. Guerrero-Prieto, «Múltiples formas de aprovechar los beneficios de la moringa (Moringa oleifera Lam),» *TECNOCENCIA Chihuahua*, vol. X, nº 2, Mayo–Agosto 2016.
- [34] J. Arboleda Valencia, *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*, Lima, Perú: CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente), 1972.
- [35] S. N. d. Agua, «Informe técnico de calidad del agua en los cantones San Lorenzo y Eloy Alfaro, provincia de Esmeraldas,» 2011.
- [36] S. d. Agua, «Registro Oficial–Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua,» Quito, 2014.
- [37] J. Sierra Joven, «Estudio de un sistema de tratamiento de bajo coste para agua potable en contextos de subdesarrollo. Aplicación a Mtanga, Kigoma Rural, Tanzania,» *Universidad Politécnica de Madrid*, p. 4.
- [38] A. Olsen, «Low technology water purification by bentonite clay and

- Moringa oleifera seed flocculation as performed in sudanese villages: effects on *Schistosoma mansoni* cercariae,» *Water Research*, vol. 21, pp. 517-522, Mayo -1987.
- [39] J. M. Epstein, J. Berberich, R. Falatach, D. Macko y J. D. Michael, «Using Sand and Moringa Oleifera Protein for a Sustainable Water Filter,» Miami University, 2014.
- [40] M.G. Preciado, T.A. Rojas, «Diseño de Biofiltro con fibra de coco (*Cocus nucifera*) para el tratamiento de aguas residuales», 2012